

SKRIPSI – ME141501

**PENGARUH EFEK PERAWATAN TERHADAP JADWAL
PERAWATAN SISTEM PENDUKUNG MESIN INDUK
PADA KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN
DINAMIKA SISTEM**

Good Year Surya Nusantara
NRP. 4211 100 015

Dosen Pembimbing
Dr.Dhimas Widhi Handani ST, M.Sc
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

FINAL PROJECT – ME141501

**MAINTENANCE INTERVAL SCHEDULING OF SHIP
MACHINERY CONSIDERING MAINTENANCE EFFECT
USING SYSTEM DYNAMICS MODELLING**

Good Year Surya Nusantara
NRP. 4211 100 015

Dosen Pembimbing
Dr.Dhimas Widhi Handani ST, M.Sc
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH EFEK PERAWATAN TERHADAP
JADWAL PERAWATAN SISTEM PENDUKUNG
MESIN INDUK KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN
PEMODELAN DINAMIKA SISTEM


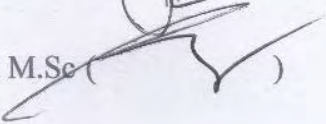
SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Marine Reliability, Availability,
Maintainability and Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GOOD YEAR SURYA NUSANTARA
NRP. 4211 100 015

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Dr. Dhimas Widhi Handani ST, M.Sc ()
2. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST, M.Sc ()

SURABAYA
JULI, 2015

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH EFEK PERAWATAN TERHADAP
JADWAL PERAWATAN SISTEM PENDUKUNG
MESIN INDUK KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN
PEMODELAN DINAMIKA SISTEM

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Reliability, Availability, Maintainability
dan Safety (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

GOOD YEAR SURYA NUSANTARA
NRP 4211 100 015

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan

DR. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng.



SURABAYA
JULI, 2015

PENGARUH EFEK PERAWATAN TERHADAP JADWAL PERAWATAN SISTEM PENDUKUNG MESIN INDUK KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN PEMODELAN DINAMIKA SISTEM

Nama Mahasiswa : Good Year Surya Nusantara
NRP : 4211100015
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Dr.Dhimas Widhi Handani ST,M.Sc
Prof. Dr.Ketut Buda Artana, ST, M.Sc

ABSTRAK

Strategi penjadwalan perawatan sistem pendukung motor induk memiliki peran yang sangat penting demi kelangsungan beroperasinya motor induk yang terpasang dikapal. Sistem penunjang motor induk terdiri dari *fuel oil system*, *lubricating oil system*, *cooling system*, dan *starting air system*. Oleh karena itu apabila terjadi kegagalan pada salah satu sistemnya, kondisi ini tidak hanya berdampak pada motor induk itu sendiri tetapi hal ini juga mempengaruhi operasional kapal. Dengan begitu pentingnya peran dari sistem tersebut, sistem penunjang motor induk tentunya membutuhkan suatu penjadwalan perawatan yang baik sehingga dapat mencegah terjadinya kegagalan sistem. Dalam studi ini dianalisa dan diidentifikasi mengenai kegiatan penjadwalan *preventive maintenance* berdasarkan efek perawatan dengan metode dinamika sistem untuk sistem penunjang motor induk pada kapal. Efek perawatan didasarkan pada *availability element* komponen sistem pendukung mesin induk kapal. Jadwal perawatan ditentukan dengan mempertimbangkan jadwal operasional kapal sehingga semua kegiatan perawatan akan dilakukan pada saat kapal tidak sedang berlayar atau sandar. Penjadwalan perawatan berdasarkan efek perawatan dimodelkan dengan menggunakan metode dinamika sistem . Hasilnya menunjukkan bahwa *fuel oil system* dilakukan perawatan setiap 714 jam, *lubricating oil system*

setiap 1125 jam, *sea water cooling system* setiap 1772 jam, *fresh water cooling system* setiap 11123 jam. Semua jadwal perawatan ditentukan berdasarkan skenario perbaikan sistem untuk mengurangi biaya perawatan dan dalam rangka untuk menghindari terjadinya kegagalan sistem.

Keyword : *Preventive Maintenance*, Penjadwalan Perawatan, Dinamika Sistem

MAINTENANCE INTERVAL SCHEDULING OF SHIP MACHINERY CONSIDERING MAINTENANCE EFFECT USING SYSTEM DYNAMICS MODELLING

Name : Good Year Surya Nusantara
NRP : 4211100015
Department : Marine Engineering
Supervisors : Dr.Dhimas Widhi Handani ST,M.Sc
Prof. Dr. Ketut Buda Artana ST, M.Sc

ABSTRACT

The strategy of maintenance interval scheduling for main engine support systems has a very important role for continues ship operation. Main engine support system consists of fuel oil system, lubricating oil system, cooling system, and the compressed air system. Therefore, if there is a failure in one system, this condition does not only affect the main engine itself but it is also can affect the operations of the ship. It importants, that main engine support system certainly requires substantial maintenance interval scheduling to prevent the occurrence of system failures. This paper analyzed and identified the scheduling of preventive maintenance activities based on the maintenance effect with the method of system dynamics for the main engine support systems on ships. The maintenance effect is based on the availability of component system components of ship machiney which are installed in main engine support systems of ships. Maintenance interval schedule is determined by considering maintenance effect, so that all maintenance activities will be conducted in condition when the ships is not sailing or docking time. Maintenance interval scheduling based maintenance effects modeled using system dynamics method. The results showed that all maintenance schedules are determined based on the ranking of components and re-evaluation of the system design to reduce maintenance costs and in order to avoid failure of the systems. Maintenance interval

scheduling important to development and increase of availability system. The results show that the fuel system scheduling every 714 hours, lubricating oil system every 1125 hours, sea water cooling system every 1772 hours, fresh water cooling system every 11.123 hours. All maintenance schedule is determined based on the scenario system improvements to reduce maintenance costs and in order to avoid system failures.

Keywords : Maintenance Interval Scheduling; Preventive Maintenance; System Dynamics

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr, wb.

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah swt. karena atas limpahan berkah dan rahmatnya saya bisa menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan baik. Skripsi yang berjudul *“Pengaruh Efek Perawatan terhadap Jadwal Perawatan Sistem Pendukung Mesin Induk Kapal”* ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tidak ada yang sempurna di dunia ini. Oleh karena itu saya menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik, saran, masukan maupun koreksi yang bersifat membangun sangat saya harapkan demi kebaikan dan bertambahnya ilmu pengetahuan yang diperoleh di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Dalam pengerjaan skripsi ini, saya pastinya tidak akan bisa menyelesaikan sendiri. Untuk itu, saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam bentuk materiil maupun non materiil, sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Secara khusus saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang selalu memberikan nikmat berupa kesehatan, kesempatan, kelancaran, inspirasi, motivasi, keluarga dan teman-teman yang mendukung dalam pengerjaan skripsi ini sehingga bisa terselesaikan dengan baik.
2. Bapak, Ibu, Adik dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan motivasi, dorongan dan bantuan berupa materiil maupun non materiil agar saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

3. Bapak Dr. Dhimas Widhi Handani, selaku dosen pembimbing pertama yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi ini. Terima kasih saya sampaikan kepada bapak atas berbagai *sangu urip* yang banyak bapak berikan selama pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST, M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua dan sebagai dosen yang telah banyak membantu dengan diskusi dalam pengerjaan skripsi maupun berbagai kegiatan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Terima kasih atas ilmu, bimbingan dan motivasi dari Bapak selama saya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
5. Bapak A.A.B.Dinariyana D.P., ST, MES, PhD, selaku kepala Laboraturium RAMS atas *sharing* ilmu, pengalaman, nasihat, motivasi dan *guyon-guyonannya* selama beraktivitas di laboratorium. Terima kasih juga atas perhatian, dorongan dan inspirasi bapak disetiap kesempatan di laboratorium.
6. Teman-teman AMPIBI'11, terima kasih atas semua canda tawa, susah senang, dukungan dan kerja sama yang telah kita lakukan disetiap kesempatan bersama. Semoga diwaktu yang akan datang kita bisa bertambah erat, tambah sukses dan tambah *sangar*.
7. Teman-teman Pejuang Wisuda 112 di Lab RAMS, Galih, Hayi, Andhka, Dinny, Ahong , Alfin, Iqba, Emmy, Putri, Ucik, Happy, Satrio, Napit, Pujo, Rizky dan member Lab RAMS Adi, Agung, Katil, Abas, Libry, Afro, Natya, Fauzi, Cakra, Carlanda, Ilham, Sita, Ega dan seluruh member. Terima kasih karena telah menghiasi hari-hari di lab dengan penuh keceriaan. Semoga bisa sukses semua dunia dan akhirat. Terutaman untuk Mas Dwi “Kiwil” dan Habib yang telah banyak membantu konsultasi dalam mengerjakan skripsi.
8. Teman-teman PSDM Rangers, Imam, Ici, Mufli, Emy, Qintan, Dini, Haidar, Aida, Nafi, Dean, Audit dan

- Alfinsyah Terima kasih atas bantuannya karena telah memberi motivasi dalam proses pengerjaan tugas akhir.
9. Teman-teman Kos, Mas Aris, Mas Arga, Mas Bambang. Terima kasih atas kenangan, canda tawa dan keramaian yang telah kita lalui selama di kos.
 10. Alumni JTSP, senior, junior, sekretariat JTSP dan kepada seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dan berupa materiil maupun non materiil yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga semua amalan baik bisa dibalas dengan kebaikan pula oleh Allah SWT.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para penulis, pembaca dan para pencari ilmu untuk bahan studi selanjutnya.

Wassalamualaikum wr,wb.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Skripsi	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Main Engine Support System.....	5
2.1.1 Sistem Pelumasan Mesin.....	5
2.1.2 Sistem Bahan Bakar	6
2.1.3 Sistem Pendingin Mesin	8
2.2 Model Distribusi Dalam Evaluasi Reliability.....	9
2.3 Metode Penentuan Distribusi	10
2.4 Dinamika Sistem	14
2.5 Causal Flow Diagram.....	19
2.6 Manajemen Perawatan	20
2.7 Efek Perawatan.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Perumusan Masalah.....	26
3.2 Studi Literatur.....	26

3.3 Pengumpulan Data	26
3.4 Pemodelan Dinamika Sistem.....	27
3.5 Pengujian Model Dinamika Sistem	27
3.6 Kesimpulan.....	27
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	29
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data	29
4.2 Jadwal Pelayaran Kapal.....	30
4.3 Model dan Jadwal Pelayaran Kapal	30
4.4 Evaluasi Sistem Penunjang Main engine	31
4.5 Pembuatan Model Dinamika Sistem	44
4.6 Analisa Komponen Kritis	48
4.7 Perbandingan Antar Metoda.....	69
4.8 Skenario Perbaikan Main Engine Support System.....	72
4.9 Implikasi Redesign Terhadap Jadwal Perawatan Main Engine Support System	78
4.10 Analisa Biaya Perawatan.....	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
KESIMPULAN DAN SARAN	89
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN	93

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Jadwal Pelayaran Kapal	30
Tabel 4. 2 Spesifikasi Sistem Bahan Bakar.....	32
Tabel 4. 3 Data Kegagalan Komponen Sistem Bahan Bakar	35
Tabel 4. 4 Parameter Distribusi Sistem Bahan Bakar	36
Tabel 4. 5 Data Daftar Perawatan Terencana LO Sistem Pelumasan.....	39
Tabel 4. 6 Parameter Distribusi Sistem Pelumasan.....	39
Tabel 4. 7 Data Perawatan Terencana Sistem Pendingin...	42
Tabel 4. 8 Parameter Distribusi Sistem Pendingin.....	43
Tabel 4. 9 Nilai Ketersediaan Komponen Sistem Bahan Bakar	47
Tabel 4. 10 Nilai Ketersediaan Komponen Sistem Pelumasan.....	47
Tabel 4. 11 Nilai Ketersediaan Komponen Sistem Pendingin	48
Tabel 4. 12 Nilai Keandalan Komponen Sistem Bahan Bakar	50
Tabel 4. 13 Ranking komponen kritis Sistem bahan Bakar	52
Tabel 4. 14 Nilai Keandalan Komponen LO System.....	54
Tabel 4. 15 Ranking Komponen Kritis Sistem Pelumas....	55
Tabel 4. 16 Nilai Keandalan Komponen Sea Water Cooling System	57
Tabel 4. 17 Ranking Komponen Sea Water Cooling System	58
Tabel 4. 18 Nilai Keandalan Komponen Fresh Water Cooling System	59
Tabel 4. 19 Ranking Komponen Sistem Pendingin Air Tawar.....	61
Tabel 4. 20 Nilai Keandalan Komponen FO System	62
Tabel 4. 21 Nilai Keandalan Komponen LO System.....	64

Tabel 4. 22 Nilai Keandalan Komponen Sea Water Cooling System	66
Tabel 4. 23 Nilai Keandalan Komponen Fresh Water Cooling System	68
Tabel 4. 24 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis..	69
Tabel 4. 25 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis LO System	70
Tabel 4. 26 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis Sea Water Cooling System	71
Tabel 4. 27 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis Fresh Water Cooling System.....	71
Tabel 4. 28 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Bahan Bakar.....	72
Tabel 4. 29 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Bahan Bakar	73
Tabel 4. 30 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Pelumasan	74
Tabel 4. 31 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Pelumasan.....	74
Tabel 4. 32 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Pendingin Air Laut	75
Tabel 4. 33 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Pendingin Air Laut.....	76
Tabel 4. 34 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Pendingin Air Tawar.....	77
Tabel 4. 35 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Pendingin Air Tawar	77
Tabel 4. 36 Jadwal Perawatan Sistem Bahan Bakar	80
Tabel 4. 37 Jadwal Perawatan Sistem Pelumasan.....	82
Tabel 4. 38 Jadwal Perawatan Sistem Pelumasan.....	84
Tabel 4. 39 Jadwal Perawatan Sistem Pendingin Air Tawar	86

DAFTAR GAMBAR

BAB 2

Gambar 2. 1 Sistem Pelumasan	6
Gambar 2. 2 Sistem Bahan Bakar	7
Gambar 2. 3 Sistem Pendingin	9
Gambar 2. 4 Relex Software	14
Gambar 2. 5 Hubungan Keandalan menggunakan software powersim 2008	17
Gambar 2. 6 Powersim Studio 2008.....	18
Gambar 2. 7 Auxiliary.....	18
Gambar 2. 8 Constant pada powersim 2008	19
Gambar 2. 9 Causal Flow Diagram	20
Gambar 2. 10 Contoh Ketersediaan Sistem	23
Gambar 2. 11 Komponen tersusun seri	24
Gambar 2. 12 Komponen terhubung secara paralel	25

BAB 3

Gambar 3. 1 Alur Metodologi Penelitian	25
--	----

BAB 4

Gambar 4. 1 Model Dinamika Sistem Jadwal Pelayaran Kapal	31
Gambar 4. 2 Sistem Bahan Bakar	32
Gambar 4. 3 Blok Diagram Sistem Suplai Bahan Bakar ...	34
Gambar 4. 4 Sistem Pelumasan	38
Gambar 4. 5 Blok Diagram Sistem Pelumasan	38
Gambar 4. 6 Blok Diagram Sistem Pendingin Air Laut	41
Gambar 4. 7 Blok Diagram Sistem Pendingin Air Tawar..	42
Gambar 4. 8 Model Dinamika Sistem Ketersediaan Komponen	46
Gambar 4. 9 Grafik Ketersediaan Komponen	46
Gambar 4. 10 Model Keandalan pada Dinamika Sistem ...	49
Gambar 4. 11 Grafik Ranging Komponen Kritis Sistem Bahan Bakar	52

Gambar 4. 12 Rangking komponen kritis sistem minyak pelumas.....	55
Gambar 4. 13 Grafik rangking komponen kritis sistem pendingin mesin	58
Gambar 4. 14 Grafik rangking komponen kritis sistem pendingin air tawar.....	60
Gambar 4. 15 Grafik rangking komponen kritis sistem pendingin.....	79
Gambar 4. 16 Grafik Fuel Oil System Availability Skenario.....	79
Gambar 4. 17 Grafik Lubricating Oil System Availability Existing.....	81
Gambar 4. 18 Grafik Lubricating Oil System Availability Skenario.....	82
Gambar 4. 19 Grafik Sea Water Cooling System Availability Existing	83
Gambar 4. 20 Grafik Sea Water Cooling System Availability Skenario.....	84
Gambar 4. 21 Grafik Availability Fresh Water Cooling System Existing.....	85
Gambar 4. 22 Grafik Fresh Water Cooling System Availability Skenario.....	86
Gambar 4. 23 Model Dinamika Sistem Biaya Perawatan FO System	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pendukung mesin induk kapal merupakan bagian dari sub-sub sistem yang kompleks dan memerlukan strategi maintenance yang tepat dalam hal program perawatan. Agar dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya mesin diesel yang terpasang di kapal didukung oleh sistem penunjang yaitu *fuel oil system*, *lubricating oil system*, *cooling system* dan *starting air system*. Semua sistem tersebut memiliki fungsi serta peran yang sangat penting bagi operasional motor induk, hal ini dikarenakan apabila terjadi kerusakan pada salah satu sistem penunjangnya, motor induk pasti akan mengalami masalah dan mungkin motor induk tidak dapat beroperasi dengan baik. Sebagai contoh apabila *fuel oil system* mengalami masalah yaitu belum terpenuhinya suhu pembakaran, serta kompresi menjadi rendah maka akhirnya flash point dari bahan bakar tidak tercapai.

Begitu pula dengan *cooling system* serta *lubricating oil system* mengalami masalah, apabila *cooling system* mengalami masalah maka engine akan cepat menjadi panas dan juga dengan *lubricating oil system* yang berfungsi sebagai penyuplai minyak pelumas ke bagian mesin yang perlu dilumasi mengalami masalah maka bagian engine yang kurang pelumas akan cepat aus serta dikhawatirkan motor induk tidak mampu menahan panas yang ditimbulkan oleh kerja motor induk tersebut. Semua kegagalan tersebut secara ekstrem dapat mengakibatkan terhentinya kerja motor induk, sehingga dengan terhentinya kerja dari motor induk maka kapal akan gagal beroperasi. Dan apabila kejadian ini berlangsung saat kapal sedang berlayar maka akan sangat berbahaya bagi kapal, awak kapal serta lingkungan itu sendiri. Hal ini dikarenakan apabila saat berlayar motor induk tidak dapat beroperasi maka kapal akan terbawa arus serta karam dan mengakibatkan kebocoran pada lambung kapal dan apabila terjadi kebocoran pada tangki bahan bakar maka bahan bakar tersebut

akan mencemari lingkungan laut. Dengan begitu pentingnya peran dan fungsi dari masing-masing sistem penunjang tersebut maka perlu dilakukan suatu manajemen perawatan yang baik agar system memiliki uptime yang baik. Manajemen perawatan tersebut dapat berupa jadwal perawatan serta analisa perawatan dan kondisi sistem setelah dilakukan perawatan. Analisa ini sangat penting untuk memprediksi bagaimana perilaku sistem di masa mendatang serta bagaimana efek dari kebijakan pemeliharaan dan operasional yang telah dilakukan dan yang paling terpenting adalah hubungan antara biaya perawatan yang optimum agar sistem memiliki uptime yang baik sehingga kapal dapat beroperasi dan menghasilkan pendapatan yang optimum pula. Untuk dapat menilai keandalan sistem ataupun komponen harus diketahui dengan jelas karakteristik kerja dari sistem atau komponen yang akan dianalisa termasuk juga dengan pola operasi, pola perawatan, pola kegagalan dan pengaruh kondisi operasi terhadap kinerja sistem atau komponen tersebut.

Sehingga untuk dapat mengetahui karakteristik kegagalan sistem serta manajemen perawatan yang optimum maka pada tugas akhir ini penulis mempelajari mengenai dinamika sistem dari kegagalan sistem penunjang motor induk tersebut dengan membuat suatu pemodelan dinamika sistem dengan bantuan PowerSim Software. Analisa dinamika sistem sangat baik digunakan untuk memecahkan permasalahan tersebut. Hal ini dikarenakan dinamika sistem memberikan suatu analisa hubungan sebab akibat antara komponen/sistem dengan komponen/sistem yang lainnya. Sehingga apabila terjadi permasalahan pada salah satu sistem maka sistem yang lainnya pun akan mengalami masalah. Pemodelan ini sangat tepat dipakai dengan analisa yang akan dilakukan pada sistem penunjang motor induk yang memiliki karakteristik yang hampir sama yaitu saling berpengaruh terhadap satu dengan yang lainnya demi beroperasinya motor induk dengan baik. Setelah mengetahui karakteristik kegagalan yang terjadi maka selanjutnya akan dibuat suatu analisa mengenai jadwal perawatan dan biaya perawatan yang optimum serta kondisi operasi sistem setelah

dilakukan perawatan. Sehingga dengan analisa ini diharapkan sistem penunjang motor induk yang terpasang di kapal memiliki uptime yang baik serta jadwal perawatan optimum yang dihasilkan dapat memberikan masukan kepada operator sehingga biaya perawatan dapat diminimalisir dengan pengoperasian sistem yang tepat dan sesuai dengan prosedur, sehingga kapal dapat berlayar sesuai dengan jadwal dan diharapkan dapat memberikan pendapatan yang baik kepada manajemen.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang muncul diangkat dalam skripsi ini adalah :

- a. Bagaimana perencanaan penjadwalan perawatan yang optimal untuk sistem pendukung mesin induk kapal ?
- b. Bagaimana pengaruh skenario perbaikan terhadap kinerja sistem pendukung mesin induk kapal ?
- c. Bagaimana perencanaan pembiayaan perawatan yang optimal untuk sistem pendukung mesin induk kapal ?
- d. Bagaimana analisa *availability pada sistem* dengan menggunakan simulasi pemodelan

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalahnya adalah :

- a. Penelitian dilakukan untuk komponen sistem pendukung mesin induk kapal (*fuel oil system, lubricating oil system, dan cooling system*)
- b. Penelitian tidak membahas secara spesifik semua komponen yang ada dalam sistem pendukung mesin induk kapal
- c. Data yang digunakan dalam analisa ini berupa perawatan pada komponen yang sering mengalami kegagalan.
- d. Penelitian ini tidak membahas secara spesifik *failure mode* dari setiap komponen yang ada dalam sistem pendukung mesin induk kapal.

1.4 Tujuan Skripsi

Tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini antara lain :

- a. Mendapatkan program perawatan dan penjadwalan perawatan komponen untuk system pendukung mesin induk kapal.
- b. Menganalisa pengaruh skenario perbaikan terhadap kemampuan ketersediaan komponen-komponen pada sistem pendukung mesin induk kapal.
- c. Menilai pengaruh keandalan komponen terhadap sistem pendukung mesin induk kapal.
- d. Mengurangi biaya perawatan dalam perawatan sistem pendukung mesin induk kapal.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penulisan skripsi ini adalah :

- a. Mengetahui komponen yang berpengaruh terhadap kinerja sistem pendukung mesin induk
- b. Merencanakan program perawatan yang optimal pada sistem pendukung mesin induk kapal
- c. Mengetahui biaya perawatan yang dibutuhkan sistem pendukung mesin induk kapal

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Main Engine Support System

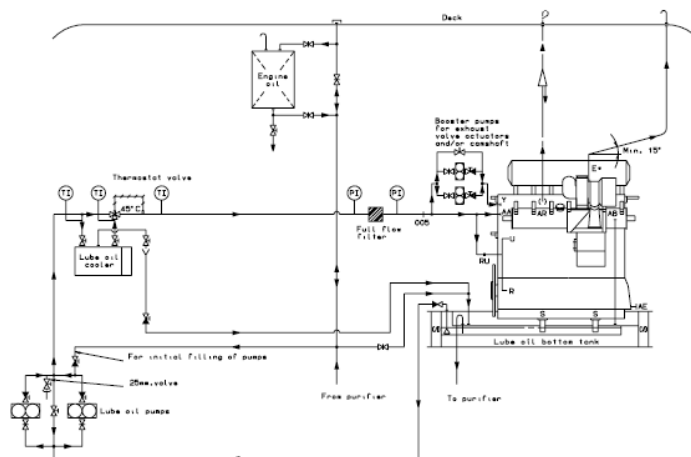
Secara umum mesin induk di dalam kapal membutuhkan sistem pendukung agar dapat beroperasi dengan baik dan tanpa mengalami gangguan yang berarti dan tiap unit bagian mesin harus mendapat perawatan secara simultan dan continue. Secara umum sistem pendukung pada mesin tersebut dibagi menjadi 3 bagian utama, yaitu: Sistem Pelumasan (*Lubrication*) Sistem Bahan Bakar (*Fuel Injection*) Sistem Pendinginan (*Cooling System*).

2.1.1 Sistem Pelumasan Mesin

Mesin pembakaran dalam (*internal combustion*) tidak dapat berjalan jika bagian-bagian yang bergerak yang terdiri dari logam-logam diperbolehkan saling kontak tanpa lapisan pelumas. Panas yang dihasilkan luar biasa karena jumlah gesekan akan mencairkan logam, menuju kehancuran mesin. Lubricant untuk mencegah hal ini, semua bagian mesin yang bergerak harus dilapisi minyak pelumas yang dipompa ke semua bagian mesin yang bergerak. Umumnya pelumas mesin menggunakan olie yang kekentalannya (*viskositas*) menggunakan satuan SAE, fungsi dari pelumas tersebut adalah untuk mengurangi gesekan dan getaran antar bagian-bagian yang bergerak, melindungi mesin dari keausan, menyerap panas dan gesekan yang dihasilkan oleh bantalan mesin yang bergerak.

Untuk memastikan agar bagian-bagian mesin yang bergerak terlumasi dengan baik maka perawatan dan pengecekan rutin (*schedule*) perlu dilakukan agar sirkulasi pelumasan mesin tidak terhambat dan tersumbat. Minyak pelumas ditampung dan disimpan di bak oli (*oil carter*) dimana telah terdapat satu atau lebih pompa oli, pompa melalui pipa menghisap olie dari bak oli dan memompanya ke saluran-saluran pembagi setelah terlebih dahulu melewati filter olie dan pendingin olie. Dari saluran-saluran pembagi, minyak pelumas yang telah didinginkan tersebut

disalurkan untuk melumasi permukaan bantalan, poros engkol, roda gigi, silinder, pegas dan bagian yang bergerak lainnya.

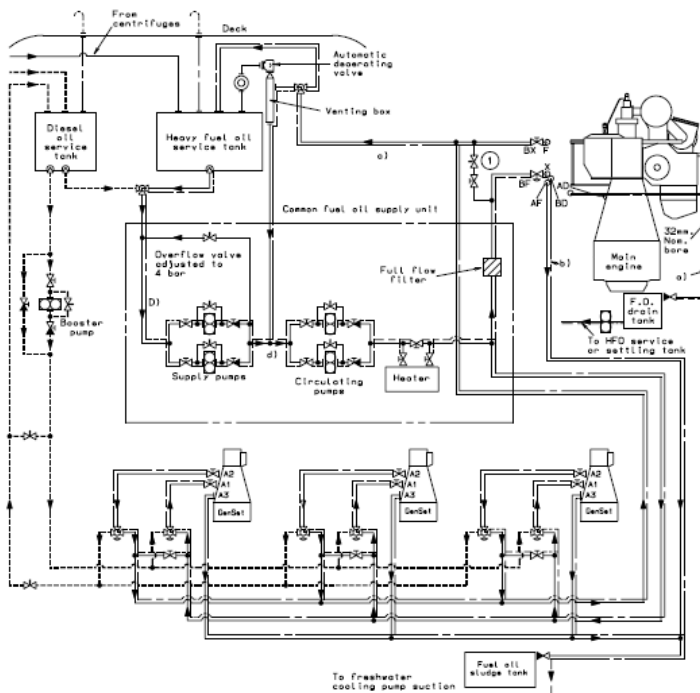


Gambar 2. 1 Sistem Pelumasan

2.1.2 Sistem Bahan Bakar

Semua mesin diesel memerlukan sebuah metode penyimpanan dan penyampaian bahan bakar ke mesin. Karena mesin diesel mengandalkan *injector* yang komponennya sangat presisi dengan toleransi sangat ketat dan sangat kecil lubang injeksinya, bahan bakar dikirim ke mesin harus sangat bersih dan bebas dari kontaminan. Keharusan sistem bahan bakar tidak hanya menyampaikan bahan bakar, tetapi juga menjamin kebersihan bahan bakar tersebut. Hal ini biasanya dilakukan melalui serangkaian filter in-line. Umumnya, bahan bakar akan disaring lebih dulu di luar mesin dan bahan bakar akan melalui setidaknya satu lagi filter internal mesin, biasanya terletak di garis setiap injektor bahan bakar. Dalam mesin diesel, sistem bahan bakar jauh lebih kompleks dari pada sistem bahan bakar mesin bensin yang lebih sederhana karena bahan bakar mesin diesel yang melayani dua tujuan. Satu tujuan yang jelas adalah sebagai pemasok bahan

bakar untuk menjalankan mesin dan yang lainnya bertindak sebagai pendingin injector. Untuk memenuhi tujuan kedua ini, bahan bakar terus menerus mengalir melalui sistem bahan bakar mesin (*engine's fuel system*) dengan laju aliran yang jauh lebih tinggi dari yang dibutuhkan untuk hanya menjalankan mesin, contoh saluran bahan bakar ditunjukkan pada gambar. Bahan bakar yang berlebih disalurkan kembali ke pompa bahan bakar (*fuel pump*) atau tangki penyimpanan tergantung pada aplikasi sistem bahan bakar.



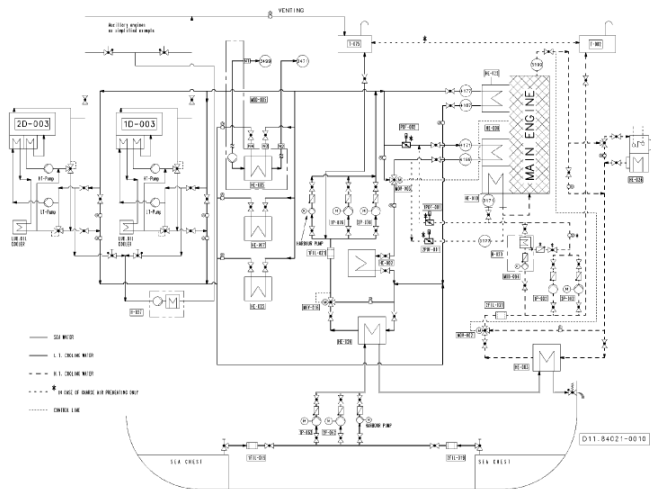
Gambar 2. 2 Sistem Bahan Bakar

2.1.3 Sistem Pendingin Mesin

Hampir semua mesin diesel mengandalkan sistem pendingin cair untuk mentransfer panas keluar dari blok dan dari dalam mesin seperti yang ditunjukkan pada Gambar. Sistem pendingin terdiri dari loop tertutup yang hampir sama dengan mesin-mesin mobil dan mengandung komponen-komponen utama seperti: pompa air (*water pump*), radiator (*heat exchanger*), termostat, jaket air yang terdiri dari bagian-bagian pendingin di blok dan kepala silinder (*cylinder head*). Hanya sebagian dari energi yang terkandung dalam bahan bakar yang diberikan pada mesin dapat diubah menjadi tenaga mekanik sedang sebagian lagi tersisa sebagai panas. Panas yang tersisa tersebut akan diserap oleh bahan pendingin yang ada pada dinding-dinding bagian blok silinder yang membentuk ruang pembakaran, demikian pula bagian-bagian dari kepala silinder didinginkan dengan air.

Sedangkan untuk piston didinginkan dengan minyak pelumas Hampir semua mesin diesel mengandalkan sistem pendingin cair untuk mentransfer panas keluar dari blok dan dari dalam mesin seperti yang ditunjukkan pada Gambar. Sistem pendingin terdiri dari loop tertutup yang hampir sama dengan mesin-mesin mobil dan mengandung komponen-komponen utama seperti: pompa air (*water pump*), radiator (*heat exchanger*), termostat, jaket air yang terdiri dari bagian-bagian pendingin di blok dan kepala silinder (*cylinder head*). Hanya sebagian dari energi yang terkandung dalam bahan bakar yang diberikan pada mesin dapat diubah menjadi tenaga mekanik sedang sebagian lagi tersisa sebagai panas.

Panas yang tersisa tersebut akan diserap oleh bahan pendingin yang ada pada dinding-dinding bagian blok silinder yang membentuk ruang pembakaran, demikian pula bagian-bagian dari kepala silinder didinginkan dengan air. Sedangkan untuk piston didinginkan dengan minyak pelumas dan panas yang diresap oleh minyak pelumas itu kemudian disalurkan melewati pendingin minyak lumas dan panas yang diresap oleh minyak pelumas itu kemudian disalurkan melewati pendingin minyak.



Gambar 2. 3 Sistem Pendingin

2.2 Model Distribusi Dalam Evaluasi Reliability

2.2.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial merupakan distribusi yang paling banyak digunakan dalam mengevaluasi keandalan sistem. Ciri utama distribusi ini adalah laju kegagalannya yang konstan.

a. Distribusi eksponensial satu parameter

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

λ = constant failure rate

t = operating time

$$\text{Persamaan Reliability : } R(t) = e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (2.2)$$

b. Distribusi Eksponensial Dua Parameter

$$\text{Persamaan reliability : } R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)}$$

$$\text{Persamaan fungsi failure rate : } \lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda \dots \dots (2.3)$$

2.2.2 Distribusi Weibull

Distribusi weibull banyak dipakai karena distribusi ini memiliki shape parameter sehingga distribusi tersebut mampu untuk memodelkan berbagai data. Jika *time to failure* suatu komponen adalah t mengikuti distribusi weibull dengan tiga parameter β , η , γ , maka persamaan fungsi densitas probabilitasnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f(t) = \beta/\eta ((t-\gamma)/\eta)^{\beta-1} e^{-((t-\gamma)/\eta)^{\beta}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Jika nilai $\gamma = 0$ maka akan diperoleh persamaan distribusi weibull dengan dua parameter.

$$\text{Persamaan Reliability } R(t) = e^{-[(t-\gamma)/\eta]^{\beta}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Persamaan failure rate : } \lambda(t) = \beta/\eta [(T-\gamma)/\eta]^{\beta-1} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.3 Metode Penentuan Distribusi

2.3.1 Maximum likelihood estimated

MLE merupakan metode yang digunakan untuk mencari parameter dari distribusi tertentu. Jika ada sekumpulan data pengamatan yaitu misalnya t_1, t_2, \dots, t_n dan data tersebut merupakan random sample dari sebuah distribusi. Persamaan maximum likelihood estimate (MLE) yaitu :

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \dots\dots\dots(2.7)$$

2.3.2 Regresi Linier

Metode yang dipakai untuk mengukur hubungan antara dua variabel atau lebih. Metode regresi juga dapat dipakai untuk mengukur derajat hubungan antar variabel yang bersifat korelasional atau yang dimaksud dengan sifat ketergantungan atau keterpautan. Regresi Linear Sederhana adalah Metode Statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara Variabel Faktor Penyebab (X) terhadap Variabel Akibatnya. Faktor Penyebab pada umumnya dilambangkan dengan X atau disebut juga dengan Predictor sedangkan Variabel Akibat dilambangkan dengan Y atau disebut juga dengan Response.

Regresi Linear Sederhana atau sering disingkat dengan SLR (*Simple Linear Regression*) juga merupakan salah satu Metode Statistik yang dipergunakan dalam produksi untuk melakukan peramalan ataupun prediksi tentang karakteristik kualitas maupun kuantitas.

2.3.3 Metode Anderson Darling

Metode anderson darling digunakan untuk menguji sebaran data dengan jumlah data yang kecil yaitu kurang dari sama dengan 25. Uji ini digunakan secara acak untuk menentukan apakah data berasal dari fungsi normal atau tidak. Uji anderson darling digunakan untuk uji kesesuaian untuk perubahan kuantitatif. Anderson darling test biasanya digunakan untuk menguji kenormalan berbagai macam sebaran data, yaitu sebaran normal, lognormal, eksponensial, weibull, sebaran logistik.

Anderson Darling Test ini digunakan untuk mengetahui distribusi dari data sampel. Uji ini merupakan modifikasi dari Kolmogorov Smirnov Test (K-S Test), yaitu K-S Test yang telah diboboti. K-S Test merupakan uji yang bebas distribusi, artinya tidak bergantung pada distribusi data tertentu yang diuji. Sedangkan Anderson Darling Test, menggunakan distribusi data tertentu dalam menghitung nilai kritis.

Kelebihan Anderson Darling Test adalah uji ini lebih sensitif daripada K-S Test, namun mempunyai kelemahan yaitu nilai kritis tersebut harus dihitung dari setiap distribusi data sampel. Anderson Darling Test yang merupakan variasi dari Kolmogorov Smirnov Test, menggunakan p-value untuk mengukur apakah sebaran tertentu tersebut menyebar normal atau tidak.

2.3.4 Metode Goodness of Fit

Goodness of Fit Test digunakan untuk melakukan pengujian sekumpulan data waktu kegagalan suatu komponen sehingga akan diketahui distribusi komponen tersebut. Pengujian hipotesis kompatibilitas (goodness of fit) merupakan pengujian

hipotesis untuk menentukan apakah suatu himpunan frekuensi yang diharapkan sama dengan frekuensi yang diperoleh dari suatu distribusi, seperti distribusi binomial, poisson, normal, atau dari perbandingan lain. Jadi, uji goodness of fit merupakan pengujian kecocokan atau kebaikan suai antara hasil pengamatan (frekuensi pengamatan) tertentu dengan frekuensi yang diperoleh berdasarkan nilai harapannya (frekuensi teoretis).

2.3.5 Metode Chi-Squared

Uji chi-square di sebut juga dengan Kai Kuadrat. Uji chi-square adalah salah satu uji statistic no-parametrik (distribusi dimana besaran – besaran populasi tidak diketahui) yang cukup sering digunakan dalam penelitian yang menggunakan dua variable, dimana skala data kedua variable adalah nominal atau untuk menguji perbedaan dua atau lebih proporsi sampel. Uji -chi-square diterapkan pada kasus dimana akan diuji apakah frekuensi yang akan di amati (data observasi) untuk membuktikan atau ada perbedaan secara nyata atau tidak dengan frekuensi yang diharapkan.

Chi-square adalah teknik analisis yang digunakan untuk menentukan perbedaan frekuensi observasi (O_i) dengan frekuensi ekspektasi atau frekuensi harapan (E_i) suatu kategori tertentu yang dihasilkan. Uji ini dapat dilakukan pada data diskrit atau frekuensi. Pengertian chi-quare atau chi kuadrat lainnya adalah sebuah uji hipotesis tentang perbandingan Antara frekuensi observasi dengan frekuensi harapan yang didasarkan oleh hipotesis tertentu pada setiap kasus atau data yang ambil untuk diamati.

Uji ini sangat bermanfaat dalam melakukan analisis statistic jika kita tidak memiliki informasi tentang populasi atau jika asumsi-asumsi yang dipersyaratkan untuk penggunaan statistic parametric tidak terpenuhi. Chi kuadrat biasanya di dalam frekuensi observasi berlambangkan dengan frekuensi harapan yang didasarkan atas hipotesis yang hanya tergantung pada suatu parameter, yaitu derajat kebebasan (df). Chi kuadrat mempunyai masing–masing nilai derajat kebebasan, yaitu distribusi (kuadrat

standard normal) merupakan distribusi chi kuadrat dengan d.f. = 1, dan nilai variabel tidak bernilai negative. Kegunaan dari chi square untuk menguji seberapa baik kesesuaian diantara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan yang didasarkan pada sebaran yang akan dihipotesiskan, atau juga menguji perbedaan antara dua kelompok pada data dua kategorik untuk dapat menguji signifikansi asosiasi dua kelompok pada data dua katagorik tersebut.

2.3.6 Metode Kolmogorov-Smirnov

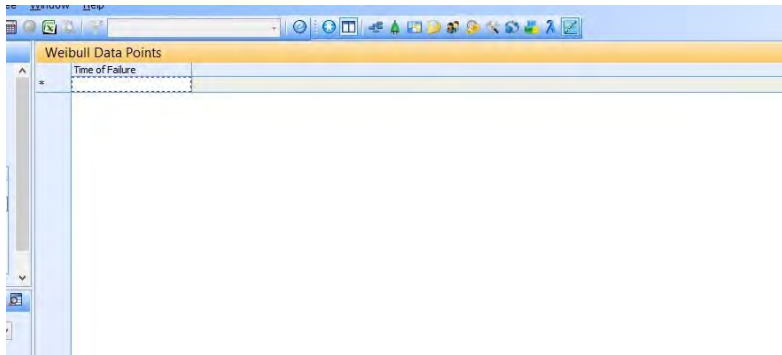
Metode Kolmogorov Smirnov diperkenalkan oleh ahli matematik asal Rusia (A.N Kolgomorov) (1933) dan Smirnov (1939). Umumnya metode ini digunakan untuk ukuran sampel yang lebih kecil dan data yang bersifat *continue*. Intinya dalam pengujian ini dapat dilihat dua fungsi distribusi kumulatif yaitu hipotesis fungsi distribusi kumulatif dan fungsi distributif kumulatif observasi. Asumsi dalam uji ini terdiri data observasi yang saling bebas.

Test (Kolmogorv -Smirnov test) merupakan uji dalam statistics nonparametric yang digunakan untuk uji dua sampel dari distribusi data yang sama. K-S test dalam *statistic non parametric* befungsi sama seperti Mann-Whitney test. K-S test mempunyai keuntungan bahwa uji ini tidak memperhatikan asumsi dari distribusi data (secara tehnik ini bisa dikatakan bahwa uji ini bebas sebaran dan nonparametric).

Namun demikian, dalam hal sensitivitas, uji t lebih baik daripada K-S Test. Keuntungan K-S Test adalah statistic-nya tidak bergantung pada fungsi distribusi kumulatif dari sebaran yang akan diuji. Selain itu keuntungan lainnya terletak pada *exact test*, yaitu chi square goodness of fit, bergantung pada suatu ukuran contoh saja. Namun K-S Test juga memiliki kelemahan, yaitu:

1. Hanya dapat diaplikasikan untuk distribusi kontinyu
2. Cenderung sensitive pada pusat distribusi

Keterbatasan untuk masalah no 2 dapat diatasi dengan menggunakan Anderson Darling test.



Gambar 2. 4 Relx Software

Penggunaan regresi adalah sebagai pengukur bentuk hubungan. Untuk menentukan bentuk hubungan (regresi). Diperlukan pemisahan yang tegas antara variabel bebas yang disebut simbol X dan variabel tak bebas dengan simbol Y. Pada regresi harus ada variabel yang ditentukan dan variabel yang menentukan atau kata lain ketergantungan variabel yang satu dengan variabel lainnya dan sebaliknya. Kedua variabel biasanya bersifat kausal atau mempunyai hubungan sebab akibat yaitu saling berpengaruh.

2.4 Dinamika Sistem

Pada tahun 1950-an Jay W. Forester memperkenalkan metode dinamika system yang berhubungan dengan penelitian terhadap pengaruh dari perubahan waktu. Pada dasarnya dinamika sistem ini adalah mempelajari mengenai hubungan timbal balik atau sebab akibat dalam penyelesaian dan pemodelan dari beberapa sistem yang kompleks. Sebagai dasar dalam mengenali dan memahami tingkah laku dinamis sistem tersebut, sedangkan permasalahan yang mungkin diselesaikan dengan metode dinamika sistem ini adalah masalah yang :

- a. Mempunyai sifat dinamis (berubah terhadap waktu)
- b. Fenomena terjadi yang paling sedikit yang memiliki satu struktur umpan balik (*feed back structure*)

Dengan pemodelan simulasi dinamika sistem memungkinkan tidak hanya melihat peristiwa tetapi dinamika sistem juga dapat melihat pola perilaku dinamika dari waktu ke waktu. Perilaku dari sebuah sistem yang sering muncul dari struktur sistem itu sendiri dan perilaku biasanya berubah seiring waktu. Kadang-kadang terlihat simulasi mundur untuk hasil sejarah. Pada waktu lain tampak maju ke masa depan, untuk memprediksi hasil di masa depan. Dengan menggunakan metode sistem dinamik dapat menganalisa hubungan sebab akibat dari satu komponen ke komponen yang lainnya berdasar fungsi serta faktor-faktor lainnya terhadap keseluruhan sistem yang kompleks. Dengan adanya metode sistem dinamik ini serta dapat menganalisa hubungan sebab akibat antar komponen, kita dapat mengambil keputusan yang tepat mengenai bagaimana sistem manajemen perawatan yang baik untuk komponen-komponen yang ada terhadap keberlangsungan proses di dalam sistem yang lebih kompleks untuk meminimalisir kegagalan ataupun kerusakan yang dapat terjadi pada komponen-komponen pada sistem.

Dalam metode sistem dinamik konsep sistem yang berlaku mengacu pada sistem yang tertutup (*closed system*) atau sistem yang mempunyai umpan balik (*feed back system*). Struktur yang terbentuk dari loop umpan balik tersebut akan menghubungkan sebuah keluaran pada suatu periode tertentu dengan masukan pada periode yang akan datang. Jadi sistem umpan balik yang ada pada akhirnya memiliki kemampuan untuk mengendalikan dirinya sendiri dalam mencapai tujuan tertentu yang diidentifikasikannya sendiri. Loop yang menjadi kerangka dasar sistem dinamis tersebut dapat merupakan rangkaian tertutup yang menghubungkan masing-masing komponen atau sektor yang terkait yang dalam sistem nyata secara komprehensif dan runtut. Komprehensif mengindikasikan bahwa setiap komponen yang memiliki kompetensi terhadap obyek pengamatan akan dimodelkan dalam loop tertutup tersebut. Adapun komponen yang dimaksud meliputi variabel keputusan yang bertindak sebagai pengendali tindakan

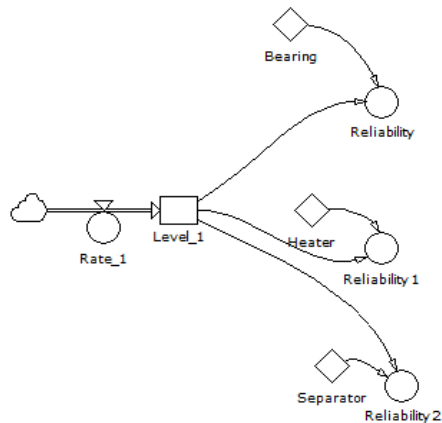
level (state) dari suatu system. Simulasi sistem dinamik didasarkan pada prinsip *cause and effect*, *feedback*, and *delay*. Beberapa simulasi sederhana akan menggabungkan hanya satu atau dua prinsip. Kebanyakan simulasi yang rumit akan menggunakan semua prinsip sesuai sifat yang ada di dunia nyata.

2.4.1 Tujuan Model Dinamika Sistem

Model sistem dinamis bukan dibuat hanya untuk memberikan proses peramalan atau prediksi semata, tetapi lebih jauh dari itu sistem dinamis ditujukan untuk memahami karakteristik dan perilaku mekanisme proses internal yang terjadi dalam suatu sistem tertentu. Sistem dinamis sangat efektif digunakan pada sistem yang membutuhkan tingkat pengelolaan akan data yang banyak dengan baik. Dengan fleksibilitas yang dimiliki maka hal ini akan membantu dalam melakukan proses formulasi model, penentuan batasan model, validasi model, analisis kebijakan, serta penerapan model.

2.4.2 Cara Kerja Dinamika Sistem

Dinamika sistem bekerja berdasarkan prinsip hubungan sebab akibat dengan *feedback* dan atau *delay*, tergantung sistem tersebut apakah kompleks atau sederhana. Dimana ketika keputusan dirubah maka konsekuensinya pun akan berubah pula. Sehingga dapat mensimulasikan beberapa kemungkinan konsekuensi dari pengoperasian sistem dan keputusan perawatan yang akan dibuat. Berdasarkan cara kerja tersebut maka dibawah ini akan dibuat suatu diagram komponen. Dimana hubungan sebab akibat dari karakteristik komponen dapat dipaparkan dengan hubungan keandalan serta performa, keandalan dengan performa merupakan hubungan dinamis, hal ini dikarenakan keandalan suatu komponen dapat berubah maupun bertambah terhadap fungsi waktu. Dan dapat berubah berdasarkan aksi yang dilakukan untuk menaikkan indeks keandalan tersebut sesuai dengan definisi keandalan.



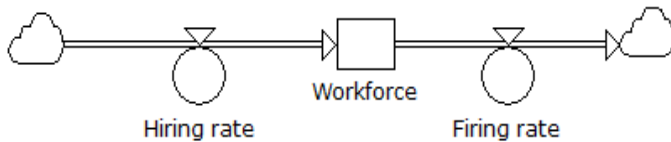
Gambar 2. 5 Hubungan Keandalan menggunakan software powersim 2008

Pada pemodelan diatas merupakan gambaran keandalan dari suatu komponen yang terdistribusi eksponensial dimana pada pemodelan tersebut memaparkan bagaimana keandalan dari suatu komponen berubah berdasarkan fungsi waktu atau dengan kata lain keandalan suatu komponen akan semakin menurun berdasarkan waktu operasional sistem

2.4.3 Building Block Dinamika Sistem pada powersim studio 2008

Pada software powersim 2008 tool yang akan digunakan adalah level, auxiliary, serta constant. Dimana semua tool tersebut memiliki fungsi masing-masing untuk merepresentasikan perumusan matematis serta analogi model yang akan dibuat. Selain itu setiap variabel dalam model didefinisikan oleh sebuah persamaan, dengan cara yang sama seperti sel-sel dalam spreadsheet yang ditetapkan. Dimana penjelasan dari masing-masing tool tersebut adalah :

A. Flows dan Levels



Gambar 2. 6 Powersim Studio 2008

Kombinasi flow dan level bertujuan untuk mengetahui tingkat akumulasi arus yang menyebabkan perubahan dari level. Selain itu berfungsi untuk mengintegrasikan fungsi yang mana hanya dapat mengukur daerah dibawah fungsi dengan menjadi dua sama lebar dari bagian bawah dan kemudian menyimpulkan semua daerah bagian tersebut. Disamping itu kombinasi ini dapat dijadikan sebagai fungsi waktu sehingga pada level akan menunjukkan hasil dari fungsi rate.

B. Auxiliary



Gambar 2. 7 Auxiliary

Auxiliary merupakan tool pada powersim yang digunakan untuk merumuskan serta menggabungkan informasi. Yang mana tidak memiliki bentuk standar, tapi merupakan perhitungan aljabar kombinasi bertingkat serta laju aliran meskipun *auxiliary* dapat digunakan untuk bahasa perhitungan namun *auxiliary* tidak dapat membagi hasil seperti level, dimana *auxiliary* hanya dapat

menghasilkan nilai yang pasti dari bahasa perhitungan yang telah ditentukan sebelumnya.

C. Constant

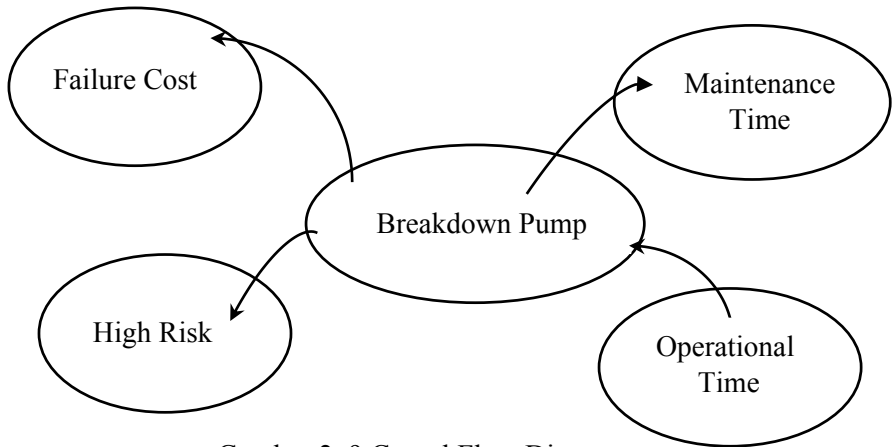


Gambar 2. 8 Constant pada powersim 2008

Constant Merupakan tool pada powersim yang digunakan untuk memberikan informasi atau sebagai inputan nilai yang akan memberikan informasi kepada sistem dengan nilai yang tetap. Dengan menggabungkan keseluruhan tool diatas maka kita akan mendapatkan suatu sistem penyampaian informasi untuk menganalisa suatu pemodelan yang akan dibuat sehingga hasil yang akan diharapkan dapat dipecahkan. Berikut ini contoh penggabungan tools tersebut. Dari beberapa tool diatas kita dapat membuat berbagai bentuk pemodelan yang akan dipecahkan. Dengan memasukkan informasi ke dalam masing-masing tool, baik itu berupa perumusan atau nilai angka, maka hasil yang akan didapat dapat berupa grafik, diagram, hasil perhitungan ataupun tabel waktu. Semua item tersebut terdapat pada menu software powersim 2005. Pada analisa ini penulis akan menampilkan hasil analisa berupa grafik serta tabel waktu.

2.5 Causal Flow Diagram

Kejadian dalam sebuah sistem selalu berubah dipengaruhi dan berhubungan dengan faktor lingkungan. Hubungan yang positif menunjukkan bahwa terjadi hubungan pertambahan antara beberapa aspek yang berkaitan, sedangkan hubungan negatif menunjukkan hubungan yang mengurangi antara beberapa aspek yang berkaitan.



Gambar 2. 9 Causal Flow Diagram

2.6 Manajemen Perawatan

Komponen-komponen mesin atau suatu sistem yang dioperasikan pada saat ini cenderung semakin banyak dan kompleks sehingga akan membutuhkan banyak modal besar baik untuk investasi awal ataupun untuk biaya operasional ataupun untuk biaya perawatan. Karena hal itu strategi dan kebijakan perawatan diperlukan agar semua komponen yang beroperasi dapat bekerja secara optimal dan jarang mengalami kegagalan. Oleh karena itu sangat penting manajemen perawatan dilakukan untuk menjaga ketersediaan dan keandalan komponen yang sedang bekerja dan mencegah agar komponen atau sistem tidak mengalami kegagalan yang serius.

2.6.1 Pengertian Manajemen Perawatan

Perawatan sebagai kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas perusahaan serta mengadakan perbaikan atau penggantian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. Yang termasuk dalam biaya perawatan adalah biaya langsung yang berhubungan

dengan sumber-sumber perawatan seperti material, tenaga kerja, serta perlengkapan dan juga biaya tidak langsung seperti biaya administrative serta biaya-biaya tambahan lainnya yang dikeluarkan agar suatu pekerjaan perawatan dapat diselesaikan.

2.6.2 Macam-Macam Kegiatan Perawatan

Kegiatan perawatan yang dilakukan perusahaan terhadap sistem pendukung mesin induk kapal dibagi menjadi dua yaitu kegiatan perawatan yang bersifat preventive dan kegiatan perawatan yang bersifat korektif. Untuk melaksanakan pemeliharaan tersebut, baik yang bersifat kegiatan preventif maupun kegiatan perawatan korektif.

I. Perawatan Korektif

Perawatan korektif sebagai kegiatan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya kerusakan pada komponen atau sistem, sehingga menyebabkan sistem atau komponen tidak dapat bekerja dengan baik. Kegiatan perawatan korektif sering disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi. Perawatan yang bersifat korektif disebut juga perawatan yang tidak terjadwal dan merupakan suatu akibat dari kegagalan atau kerusakan dan ketidakbenaran dalam operasi.

II. Perawatan Preventive

Perawatan preventif adalah kegiatan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan komponen yang tidak terduga. Perawatan preventif meliputi perbaikan, penggantian, dan pemeliharaan aset untuk menghindari kerusakan yang tidak diharapkan selama komponen tersebut digunakan. Tujuan dari perawatan preventif ini adalah untuk meminimalkan total biaya yang dikeluarkan untuk pemeriksaan menyeluruh atas peralatan atau aset tersebut serta meminimalkan *downtime*. Perawatan preventif sangat efektif dalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi atau sistem yang termasuk dalam golongan komponen yang kritis.

2.7 Efek Perawatan

2.7.1 Konsep Availability System

Pada konsep untuk menghitung efek perawatan diperlukan nilai ketersediaan komponen yang mengindikasikan suatu komponen dalam sistem dapat beroperasi total secara sukses dengan kegagalan kegagalan yang terjadi. Prasyarat untuk menghitung ketersediaan adalah dengan formula sebagai berikut :

$$a_{j,kj} = \frac{M_{j,kj}^f}{M_{j,kj}^f + M^r} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana $M_{j,kj}^f$ dan M^r menunjukkan mean time to failure dan waktu total perbaikan komponen dalam sistem. Penilaian ketersediaan komponen akan berpengaruh terhadap penentuan *element availability* untuk menentukan jadwal perawatan.

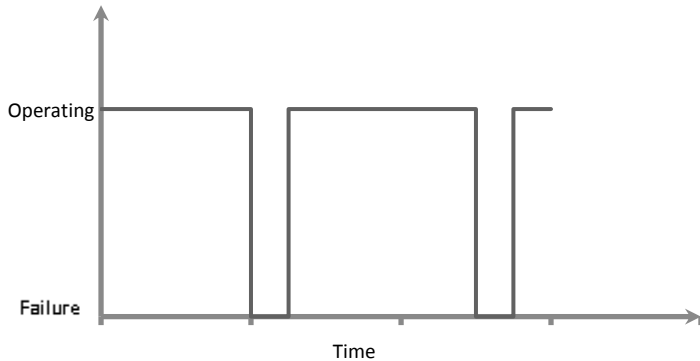
$$\text{Availability (A)} = \frac{\text{uptime}}{\text{uptime} + \text{downtime}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Secara umum sistem didefinisikan sebagai kumpulan sejumlah sub-sistem atau komponen yang berhubungan satu sama lain guna menjalankan fungsi tertentu. Klasifikasi sistem menjadi sangat bervariasi tergantung konteks sistem yang dicakup, dalam hal ini cenderung dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu *Mission Oriented System* (MOS) dan *Continuous Operated System* (COS).

COS memiliki karakteristik bahwa sistem mengalami kondisi down pada waktu yang relatif kecil jika dibandingkan dengan waktu operasinya. Pada saat down maka perbaikan (*repair*) atau penggantian komponen (*replacement*) dapat dilakukan dan penentuan dalam jadwal serta proses perbaikan ini menjadi sangat esensial dalam analisa. Dalam sebuah sistem pendukung mesin induk kapal hal yang akan ditinjau akan lebih mengarah pada sistem yang terus beroperasi atau *continuous operated system* (COS) dimana peluang gagal beroperasi akan terjadi karena suatu

hal dan apabila gagal, sistem akan berfungsi kembali setelah proses perbaikan.

$$A_p = 1 - \prod_{k=1}^n [1 - A_i(t)] \dots \dots \dots (2.10)$$



Gambar 2. 10 Contoh Ketersediaan Sistem

Dalam kasus Continuous Operated System penilaian keandalan akan menjadi kurang tepat karena COS bisa mentolerir kegagalan. Penilaian untuk sistem dengan karakter COS adalah ketersediaan (*availability*) yakni peluang sistem/komponen untuk berada pada kondisi operasi (*operating state*) atau peluang sistem ditemukan dalam kondisi operasi pada waktu tertentu.

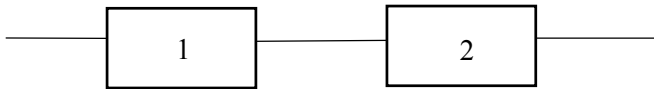
Pada sub bab sebelumnya dijelaskan bahwa sistem pembangkit listrik merupakan sistem dengan karakter operasi COS sehingga bentuk penilaian dari kesuksesan sistem menggunakan konsep ketersediaan.

2.7.2 Perhitungan Komponen Kritis

Metode Birbaums's dalam penentuan komponen kritis untuk komponen i pada waktu t adalah :

$$I^B(i | t) = \frac{\partial h(p(t))}{\partial p_i(t)} \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, n \dots \dots \dots (2.11)$$

Untuk penilaian komponen dalam rangkaian seri digambarkan dalam gambar berikut :



Gambar 2. 11 Komponen tersusun seri

Untuk keandalan sistem pada waktu t adalah

$$h(p_1, p_2) = p_1 \cdot p_2 = \dots \dots \dots (2.12)$$

Jika komponen tersebut di rangkai secara series, dapat memberikan fakta bahwa dalam rangkaian seri, komponen dengan nilai keandalan terendah memiliki perhatian utama berdasarkan metode Birnbaum's. Rangkaian seri dapat dianalogikan layaknya rantai, dimana rantai tidak akan kuat apabila masing-masing link rantai dalam kondisi paling rapuhlah yang mendapatkan perhatian lebih.

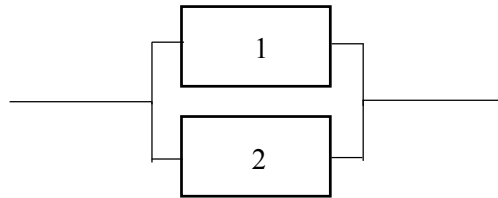
Jika dua komponen diatas terhubung secara aktif dan paralel, maka nilai keandalan sistem pada waktu t adalah

$$h(p_1, p_2) = p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2 = \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan metode Birnbaums's nilai keandalan pada komponen 1 dan 2 dapat digambarkan sebagai berikut

$$I^B(i | t) = \frac{\partial h(p_1, p_2)}{\partial p_1} = 1 - p_2 \dots \dots \dots (2.14)$$

$$I^B(i | t) = \frac{\partial h(p_1, p_2)}{\partial p_2} = 1 - p_1 \dots \dots \dots (2.15)$$



Gambar 2. 12 Komponen terhubung secara paralel

Metode Vesely Fussell

Definisi metode Vesely Fussell merupakan $I^{VF}(i | t)$ merupakan peluang minimum satu bagian dari komponen i yang gagal pada waktu t , sistem akan gagal pada waktu t . Kita sebut saja minimal bagian yang gagal dari komponen adalah minimal cut set yang mengalami kegagalan.



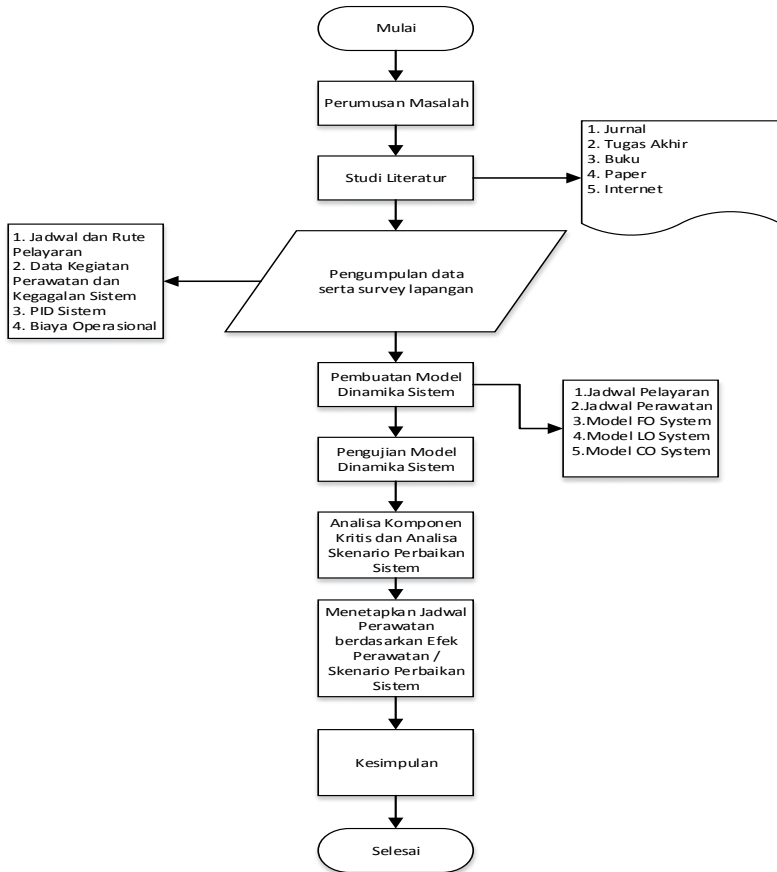
Metode Vesely Fussell's memperhitungkan fakta bahwa komponen dapat menyebabkan kegagalan sistem tanpa adanya komponen kritis, komponen memberikan kontribusi kegagalan saat minimal cut set mengandung komponen gagal. Secara umum metode ini digunakan untuk menghitung indikator tingkat kekritisan komponen dari skala yang paling penting. Identifikasi komponen yang potensial dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan sistem. (Borst, 2001).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pembuatan skripsi ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah. Dalam metodologi penelitian ini, akan diuraikan sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Alur Metodologi Penelitian

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan skripsi. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai pengaruh efek perawatan terhadap jadwal perawatan sistem pendukung mesin induk. Dengan melakukan perankingan jadwal perawatan diharapkan mampu mengurangi biaya perawatan dalam tindakan perawatan sistem pendukung mesin induk kapal.

3.2 Studi Literatur

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah studi literatur. Dimana pada tahap ini, dicari dan dipelajari imengenai permasalahan yang ada, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan dalam skripsi ini agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literature dapat dilakukan dengan cara membaca paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pengumpulan data secara langsung dengan perusahaan pelayaran. Data yang dikumpulkan antara lain rute dan jadwal pelayaran kapal, Data kegiatan perawatan dan kegagalan system, biaya operasional Data lain yang diperlukan adalah data PID sistem pendukung mesin induk kapal, antara lain sistem pelumasan mesin induk, sistem bahan bakar mesin induk, sistem pendinginan mesin induk.

3.4 Pemodelan Dinamika Sistem

Data yang diperoleh Pembuatan model dinamika sistem dengan menggunakan bantuan PowerSim Software 2008 dari sistem penunjang motor induk tersebut yaitu mengenai jadwal pelayaran kapal sehingga dapat diketahui kondisi kapal, Sehingga analisa kehandalan serta penjadwalan perawatan dapat dikelompokkan kedalam dua kondisi yaitu berlayar serta bersandar. Setelah membuat model jadwal pelayaran maka dibuat suatu model performa komponen sistem penunjang motor induk. Dalam hal ini adalah mengetahui waktu kegagalan serta perbaikan dari masing-masing komponen yang dapat diwakili oleh komponen kritis pada sistem.

Sehingga setelah dua model itu selesai ditambahkan suatu model untuk menganalisa jadwal perawatan yang tepat berdasarkan kondisi operasional kapal pada model pertama yang nantinya dilanjutkan pembuatan model untuk menganalisa estimasi biaya perawatan yang akan digunakan untuk proses perawatan atau perbaikan tersebut. Pembuatan model ini mencakup keempat sistem penunjang motor induk yang dibahas yaitu *fuel oil system*, *lubricating oil system*, *cooling system*.

3.5 Pengujian Model Dinamika Sistem

Pengujian model dilakukan untuk melihat kesesuaian antara perilaku simulasi model dengan perilaku sistem yang sebenarnya. Setiap variabel dalam model harus dapat menggambarkan kondisi yang terjadi di dunia nyata. Selanjutnya apabila ditemukan ketidaksesuaian perilaku antara model dengan kondisi nyata, maka model segera diperbaiki sehingga model dapat menggambarkan keadaan sesuai dengan kondisi nyata.

3.6 Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahapan yang terakhir dimana pada tahap ini ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan dan permasalahan yang sudah ditentukan diatas. Kesimpulan ini dibuat berdasarkan langkah-langkah yang telah dilakukan selama

penelitian. Dengan menarik kesimpulan maka akan tergambar secara ringkas keseluruhan proses yang telah dilakukan dalam penelitian ini sehingga pembaca dapat mengetahui hasil dari penelitian ini.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan permasalahan-permasalahan yang menyangkut penentuan jadwal perawatan komponen pada sistem pendukung mesin induk kapal. Sesuai dengan perumusan masalah yang telah dijelaskan di bab sebelumnya, ada beberapa hal yang harus dikaji. Penggunaan metode dinamika sistem ini berguna untuk memperoleh pengaruh bagaimana penentuan jadwal perawatan komponen dan pengaruh efek perawatan terhadap jadwal perawatan komponen pada sistem pendukung mesin induk kapal. Dalam model dinamika sistem akan dijelaskan juga bahwa penentuan jadwal perawatan berdasarkan efek perawatan akan berdampak terhadap biaya perawatan.

4.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer meliputi jadwal pelayaran kapal, data perawatan dalam kurun waktu tertentu (7 tahun) ,serta data spesifikasi kapal.

4.1.1 Data Kapal

Data perawatan sistem pendukung mesin induk kapal caraka jaya yang telah beroperasi diambil mulai tahun 2007. Data perawatan dalam kurun waktu 7 tahun diperlukan untuk menentukan efisiensi maksimum dari sistem dan komponen pendukung main engine. Sistem pendukung dan penunjang main engine kapal caraka jaya dengan spesifikasi *main engine* mitsui MAN B&W type L35 MCE dan secara blok fungsional dapat diklasifikasikan dalam bentuk beberapa gambar sub-sub sistem. Sub sub sistem tersebut sebagai penunjang pada fungsional main diesel engine. Dimana sub sistem sebagai sistem penunjang main engine pada kapal Caraka Jaya terdiri dari sistem bahan bakar (*fuel oil system*), Sistem Pendingin (*cooling system*), dan Sistem Pelumasan (*lubricating oil system*) yang sangat berpengaruh langsung terhadap kinerja dari main engine pada kapal caraka jaya.

Main engine ini didesain untuk memenuhi kebutuhan operasional yang terbaik. Operasional dari main engine harus terus dijaga dengan strategi perawatan yang optimal. Dengan pola perawatan yang baik dapat membuat komponen – komponen dalam sistem tersebut mampu bekerja secara optimal.

4.2 Jadwal Pelayaran Kapal

Moda transportasi laut tidak terlepas dari jadwal dan rute pelayaran hal ini bertujuan agar aksesibilitas armada laut menjadi semakin cepat. Berdasarkan rute pelayaran kapal yang didapatkan dari lapangan, KM. Caraka Jaya merupakan kapal yang melayani rute pelayaran dari Pelabuhan Samarinda menuju ke Pelabuhan Tanjung Priok. Sehingga dalam analisa data pada skripsi ini kapal KM. Caraka Jaya Sehingga kapal akan berlayar dengan rute yang tetap dan berulang kali selama waktu yang ditentukan.

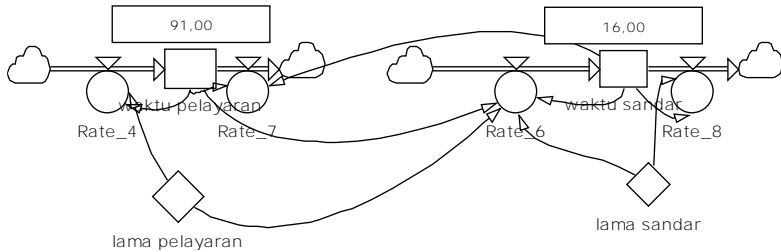
Tabel 4. 1 Jadwal Pelayaran Kapal

Pelabuhan Asal	Tiba		Berangkat	
	Tanggal	Jam	Tanggal	Jam
Samarinda			08/08/2014	02.00
Tanjung Priok	12/08/2014	7:00	12/08/2014	23:00
Samarinda	16/08/2014	19:00		

4.3 Model dan Jadwal Pelayaran Kapal

Pembuatan model pelayaran kapal KM Caraka Jaya menggunakan bantuan Software Powersim 2008. Pada pembuatan model ini tabel rute serta pelayaran kapal diatas dibuat suatu skenario agar mempermudah pembacaan pada pemodelan jadwal pelayaran tersebut. Skenario yang dipakai adalah menentukan kondisi dari kapal baik saat berlayar ataupun bersandar, dimana pada saat keadaan berlayar dianggap sebagai waktu komponen-

komponen dalam sistem pendukung mesin induk beroperasi Sehingga dapat dibuat suatu diagram yang menunjukkan model jadwal pelayaran KM Caraka Jaya Niaga.



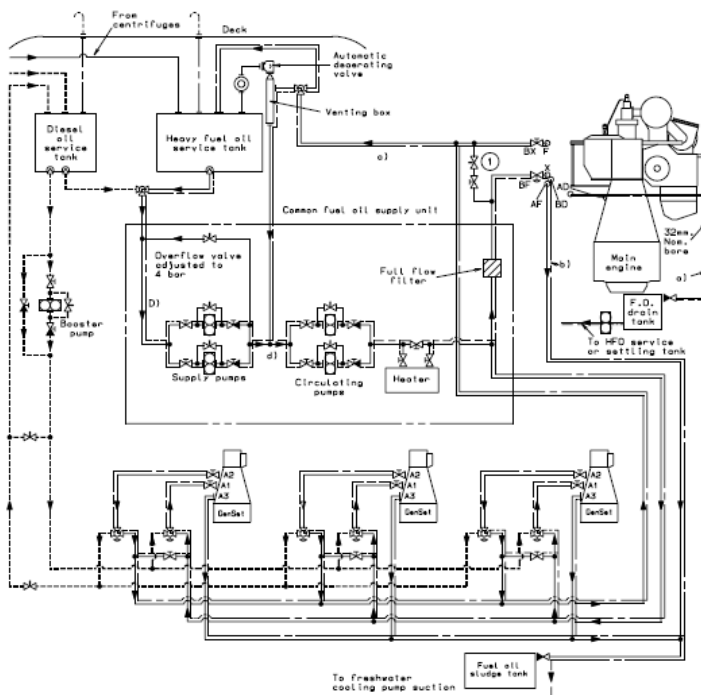
Gambar 4. 1 Model Dinamika Sistem Jadwal Pelayaran Kapal

4.4 Evaluasi Sistem Penunjang Main engine

4.4.1 Sistem Bahan Bakar

Sistem Bahan Bakar didefinisikan sebagai susunan peralatan untuk mensupply bahan bakar dari tanki bahan bakar menuju main engine. Fungsi sistem bahan bakar adalah mengantarkan sejumlah massa bahan bakar yang dibutuhkan dengan kualitas, viskositas dan tekanan yang tepat dari tanki service ke *main engine*. Sistem bahan bakar terdiri dari storage tank, transfer pump, settling tank, purifier, service tank, filter, deareation chamber, supply pump, final filter, (discharge filter), *main engine* (Injection pump dan injector).

Sistem bahan bakar terdiri dari beberapa sub-sub sistem antara lain *fuel oil transfer system*, *fuel oil feed system*, *fuel oil supply system*, *fuel oil circulating system*. Storage tank berfungsi sebagai tanki induk dari seluruh bahan bakar yang dibutuhkan *main engine* selama berlayar. Settling berfungsi sebagai tanki untuk mengendapkan bahan bakar (*heavy fuel oil*) dari kotoran dan air yang ikut terbawa oleh bahan bakar yang berasal dari storage tank. Service tank adalah tanki yang berfungsi untuk mensuplai bahan bakar ke *main engine*.



Gambar 4. 2 Sistem Bahan Bakar

Adapun fungsi dari masing-masing komponen pada fuel oil system dengan spesifikasinya adalah sebagai berikut :

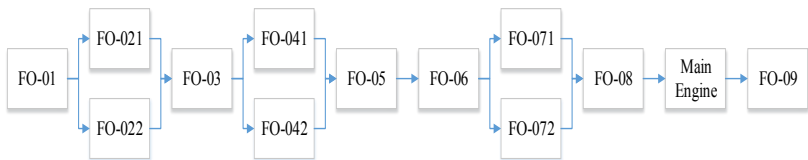
Tabel 4. 2 Spesifikasi Sistem Bahan Bakar

Equipment	Kode	Fungsi	Spesifikasi
Storage Tank	FO-01	Tangki utama penyimpanan bahan bakar di kapal	

Transfer Pump	FO-02	Memindahkan bahan bakar dari storage tank menuju settling tank	Kapasitas 15 m ³ /jam dengan tekanan 4 bar
Settling Tank	FO-03	Tempat untuk mengendapkan kandungan air dan kotoran padat	Kapasitas efektif 4 m ³
Purifier	FO-04	Memisahkan minyak dari kandungan air dan juga partikel padat	Kapasitas 350 liter / jam
Deaerator Chamber	FO-05	Memisahkan uap/gas dari bahan bakar yang merupakan sisa dari penginjeksian ke silinder motor (DO Return)	
Service Tank	FO-06	Tempat penyimpanan bahan bakar yang siap disupplykan ke main engine	
Supply Pump	FO-07	Menghisap atau memindahkan bahan bakar	Tekanan max 10 bar

		dari service tank menuju main engine	
Filter	FO-08	Untuk memproteksi unit tekanan tinggi ini dari berbagai kontaminasi	Manual Self Cleaning 50 Micron dan kapasitas 1500 liter / jam
Drain Tank	FO-09	Saluran Pembuangan	

Berdasarkan gambar 4.1 sistem bahan bakar caraka jaya III dapat digambarkan diagram proses/ blok dari sistem bahan bakar dengan memperhatikan prinsip kerja dari masing masing komponen utama yaitu :



Gambar 4. 3 Blok Diagram Sistem Suplai Bahan Bakar

Data Penelitian ini diambil seijin dari PT Pelayaran Meratus pada kapal Caraka Jaya yaitu daftar perawatan terencana (tanggal kegagalan dan jenis kegagalan) selama operasional ± 7 tahun serta buku harian kapal untuk mesin (Engine Log Book) untuk melihat jam operasi masing-masing komponen bahan bakar, failure time,dan repair time kondisi operasi selama kurun waktu tahun 2007-2014.

Berdasarkan data perawatan dan data operasional di lapangan diketahui data operasi. Dari data jam operasi dari setiap perawatan dan kegagalan masing masing komponen dapat diilustrasikan dalam tabel 4.3

Tabel 4. 3 Data Kegagalan Komponen Sistem Bahan Bakar

Komponen	Jam Operasi	Jenis Kerusakan mengakibatkan kegagalan
Transfer Pump 1	2642,1200,6048,3408,17520, 12134,1028	Filter kotor
Frekuensi Kegagalan	7 Kali	
Transfer Pump 2	4800,13872,16080,11380 4 Kali	
Purifier 1	744,960,1488,192,1032,456, 1992,480,580,480,8760,1512, 7368,672,960,840,680,1056, 1176, 288, 480,528,2856,912 1320,1632,360,792,720,288 912,264,240,240,720	bowl nozzle,starting time,clutch lining,seal-seal rusak dan gravity disch filter dan bagian bagian bowl disc kotor, dan sliding bowl
Frekuensi Kegagalan	35 Kali	
Purifier 2	2904,1920,696,1440,2544,576, 1224,1080,1272,1920,600,504 1680,528,336,1080,1920,2882 648,1944,1248,600,744,1632, 1444,4320,1728,2544,120,720	bowl nozzle,starting time,clutch lining,seal-seal rusak dan gravity disch filter dan bagian bagian bowl disc kotor, dan sliding bowl
Frekuensi Kegagalan	30 Kali	
Supply Pump 1	10562,6000,16704,28056,12128	Overhaul dan Perbaikan
Frekuensi Kegagalan	5 Kali	
Supply Pump 2	17040,2352,5448,7082	
Frekuensi Kegagalan	4 Kali	
Filter	1056,1704,14376,21120,888, 7872,2760,3384,528,384,1008, 1448,1080,696,624,312,600,672 696,7134	Filter kotor
Frekuensi Kegagalan	24 Kali	

Dari data time to failure (TTF) diatas untuk mendapatkan model distribusi probabilitasnya menggunakan software RELEX 2009, maka hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Parameter Distribusi Sistem Bahan Bakar

Equipment Code	Code	Reliability Parameter	Distribusi
Storage Tank	FO-01	NA	
Transfer Pump 1	FO-021	Weibull 3	
		Beta	0,993085
		Eta	7921,1996
		Gamma	444
Transfer Pump 2	FO-22	Weibull 3	
		Beta	5,471499
		Eta	29802,089553
		Gamma	-16128,00
Settling Tank	FO-03	NA	
Purifier 1	FO-041	Weibull 3	
		Beta	1,263284
		Eta	687,723917
		Gamma	157,44
Purifier 2	FO-042	Weibull 3	
		Beta	1,864520
		Eta	1574,153854
		Gamma	-69,6000
De-aerator Chamber	FO-05	NA	
Service Tank	FO-06	NA	
Supply Pump 1	FO-071	Ekspensial 2	
		Lambda	0,000090
		Eta	11153,812488
Supply Pump 2	FO-072	Ekspensial 2	
		Lambda	0,000114
		Eta	8800,345863

Filter	FO-08	Eksponensial 2	
		Lambda	0,001016
		Eta	983,971779
Drain Tank	FO-09	NA	

Dari Tabel ada beberapa kondisi komponen komponen tertentu yang tidak pernah mengalami kegagalan/ kerusakan selama selang waktu antara ± 7 tahun, antara lain storage tank, service tank, settling tank, dan Deaeration chamber. Sehingga diasumsikan failure rate = 0. Distribusi weibull mempunyai karakteristik kegagalan pada periode masa awal, periode pemakaian normal, dan periode masa aus.

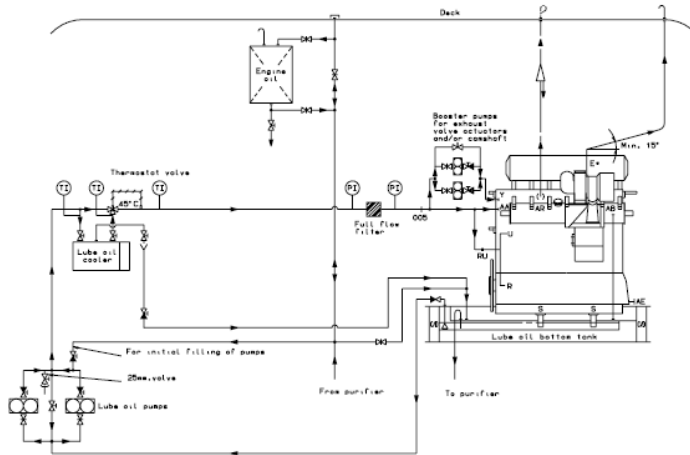
4.4.2 Lubricating Oil System

Sistem pelumasan didefinisikan sebagai susunan peralatan untuk mensuplai minyak pelumas dari bottom tank atau service tank menuju main engine. Fungsi sistem pelumasan adalah untuk mengantarkan sejumlah masa minyak pelumas yang dibutuhkan dengan kualitas, viskositas, dan temperatur yang tepat dari bottom tank atau service ke main engine.

Sistem pelumasan terdiri dari *bottom tank*, *lubrication oil pump*, *lube oil cooler*, *deaeration*, *engine oil tank*, service tank untuk cylinder oil, lube oil drain tank, heating coil, sludge tank, *hand pump*, filter, *purifier*, dan *butterfly valve*. Pompa penyedot minyak pelumas dari *bottom tank* dan menyalurkan ke *lube oil cooler*, *filter*, dan setelah itu menyalurkannya ke main engine, dimana penyaluran pelumasan itu dibagi menjadi dua cabang, yaitu :

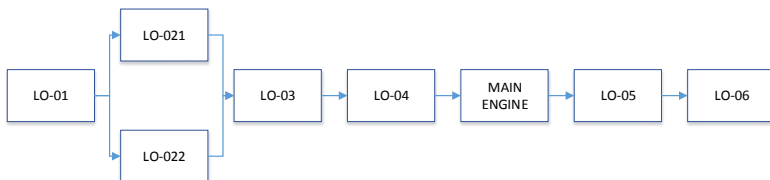
1. Bagian utama minyak pelumas dikirim ke piston *cooling manifold*, dimana didistribusikan antara piston *cooling*, dan *bearing lubrication*. Dari *cross head bearing* ,pelumas mengalir melewati lubang-lubang pada *connecting rods*, menuju *crankpin bearings*.

2. Sisa pelumas dialirkan untuk melumasi main bearing chain drive dan trust bearing. Minyak pelumas tersebut yang mengalir, untuk melumasi piston cooling manifold dan main bearing diatur oleh *butterfly valve*.



Gambar 4. 4 Sistem Pelumasan

Gambar lebih jelas dapat dilihat pada lampiran. berdasarkan prinsip kerja sistem pelumasan tersebut diatas, maka dapat dibuat blok fungsional sistem sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Blok Diagram Sistem Pelumasan

Tabel 4. 5 Data Daftar Perawatan Terencana LO Sistem Pelumasan

Komponen	Jam Operasi	Jenis Kerusakan mengakibatkan kegagalan
Transfer Pump 1	23520,12448,15250 ,10250,14210	Kebocoran dan perawatan Pompa
Frekuensi Kegagalan	5 Kali	
Transfer Pump 2	16704,22320,24816,14266 4 Kali	
Cooler	31056,1920,7920,7776,4560,2472 11280,3120,4320,8944	Perbaikan pipa dan perbaikan packing stop valve
Frekuensi Kegagalan	10 Kali	Bersihkan dan Cuci Filter
Filter	1056,1704,7056,2400 1824,1920,1920,3600,480,5568, 1656,2976,6480,1176,2952	
Frekuensi Kegagalan	15 Kali	Dibersihkan Kemudian dipasang kembali
Purifier	2640,1152,1200,2248,5760 1584,21120,2400,6720,10848 2976,6480,1536,1008,8808, 10848,336,3144,2544,288,456 1392,216,792,5280,5280,456, 1392,216,792,528,816,5760	
Frekuensi Kegagalan	34 Kali	

Dari data time to failure (TTF) diatas untuk mendapatkan model distribusi probabilitasnya menggunakan software RELEX 2009, maka hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Parameter Distribusi Sistem Pelumasan

Equipment Code	Code	Reliability Parameter	Distribusi
Lubricating Oil Tank	LO-01	NA	
Transfer Pump 1	LO-021	Ekspensial 2	
		Lambda	0,000149

		Eta	6717,361380
Transfer Oil Pump 2	LO-22	Weibull 3	
		Beta	1,220243
		Eta	8552,620346
		Gamma	12268,76000
Lubricating Oil Cooler	LO-03	Weibull 3	
		Beta	1,078924
		Eta	4830,410471
		Gamma	1478,40000
Lubricating Oil Filter	LO-04	Weibull 3	
		Beta	1,864520
		Eta	1574,153854
		Gamma	
ME C/D Tank		NA	
Lubricating Oil Purifier	LO-05	Ekspensial 2	
		Lambda	0,000480
		Eta	2083,733877
Lubricating Oil Separator	LO-06	Weibull 3	
		Beta	0,000114
		Eta	8800,345863
		Gamma	305,760000

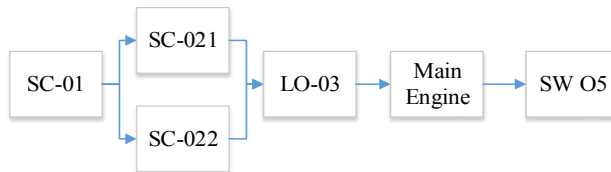
4.4.3 Sistem Pendingin

Sistem pendingin didefinisikan sebagai susunan peralatan untuk mensuplai air pendingin dari *sea chest* atau *expansion tank* menuju *main engine*. Fungsi sistem pendingin adalah mengantarkan sejumlah massa air pendingin yang dibutuhkan dengan temperatur yang tepat dari *sea chest* atau *expansion tank* ke *main engine*.

Sistem pendingin terdiri dari dua macam yaitu sistem pendingin dengan menggunakan air laut dan sistem pendingin dengan menggunakan air tawar. Sistem pendingin air laut pada kapal dipergunakan untuk mendinginkan cooler. Sistem pendingin air laut terdiri dari *sea chest*, *sea water pump*, *regulating valve*, *sea water over board*. Sedangkan sistem pendingin air tawar terdiri dari *expansion tank*, *deaerating tank*, *cooling water pump*, dan *fresh water cooler*.

4.4.3.1 Sistem Pendingin Air Laut

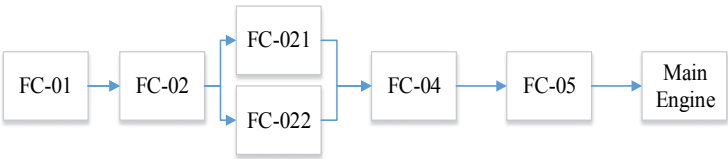
Sea chest merupakan penghubung antara air laut dengan *sea water pump*. *Sea chest* terdiri dari kotak dan saringan air yang berfungsi memisahkan air dengan kotorannya. *Sea water pump* digunakan untuk memindahkan air laut sebagai media pendingin dari *sea chest* yang melewati *valve* kemudian ke *camshaft lub oil cooler* dan *fresh water cooler*.



Gambar 4. 6 Blok Diagram Sistem Pendingin Air Laut

4.4.3.2 Sistem Pendingin Air Tawar

Air pendingin air tawar disirkulasikan melewati pendingin (*cooler*) dan *cylinder main engine* oleh *fresh water pump*. Dalam rangka menghindari keausan sangatlah penting untuk menjaga *cooling water outlet* pada temperatur sesuai dengan *main engine guide*.



Gambar 4. 7 Blok Diagram Sistem Pendingin Air Tawar

Tabel 4. 7 Data Perawatan Terencana Sistem Pendingin

Komponen	Jam Operasi	Jenis Kerusakan mengakibatkan kegagalan
Fresh Water Pump 1	18840,10560,9408,10080	Kebocoran dan perawatan Pompa
	15320	
Frekuensi Kegagalan	5 Kali	
Fresh Water Pump 2	12160,13480,26352,9648,16562,9408	
	6 Kali	
Fresh Water Cooler	21416,14560,24768,3696	Pipa tekan rusak perbaiki dengan doubling las pipa tekan pompa
Frekuensi Kegagalan	4 Kali	
Sea Chest	1320,720,9288,6912,17472,6720,672	Sea Chest dan filter kotor
	432,1056,768,1896,1512,15960,12120	
	5952,2136,1440,1680,168,168,2400	
	312,1680,3360	
Frekuensi Kegagalan	24 Kali	
Sea Water Pump	18000,13200,3192,7448,10936,2640	Impeller bearing, bush dan sealing rusak
	11208	
Frekuensi Kegagalan	7 Kali	
Sea Water Pump 2	2496,18000,25896,9024,7416	
	17280	
Frekuensi Kegagalan	6 Kali	

Dalam tabel 4.7 dapat dilihat jumlah waktu operasi masing-masing komponen dalam sistem pendingin. Kumpulan data perawatan terencana tersebut digunakan untuk menentukan distribusi mana yang tepat untuk mewakili sebaran data waktu operasi komponen sistem pendingin.

Tabel 4. 8 Parameter Distribusi Sistem Pendingin

Equipment Code	Code	Reliability Parameter	Distribusi
Fresh Water Pump	FC-031	Ekspensial 2	
		Lambda	0,000182
		Eta	5487,480295
Fresh Water Pump 2	FC-032	Ekspensial 2	
		lamda	0,000122
		Eta	8210,539861
Fresh Water Cooler	FC-05	Weibull 3	
		Beta	1,263284
		Eta	687,723917
		Gamma	157,44
Sea Chest Filter	SC-01	Ekspensial 2	
		lambda	0,000274
		Eta	3654,623009
Sea Water Pump 1	SC-021	Normal	
		Mu	9517,714373
		Sigma	6023,513580
Sea Water Pump 2	SC-022	Ekspensial 2	
		Lambda	0,000114
		Eta	8800,345863

4.5 Pembuatan Model Dinamika Sistem

4.5.1 Analisa Ketersediaan

Sebagaimana dijelaskan dalam tinjauan pustaka, *availability* atau ketersediaan suatu sistem atau komponen merupakan gabungan dari dua hal, yaitu keandalan dan kemampurawatan. Seberapa besar keandalan suatu sistem atau komponen tergantung dari seberapa mampu suatu sistem atau komponen tersebut untuk terus beroperasi pada jangka waktu tertentu. Namun kegagalan dari operasi suatu sistem atau komponen juga merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Oleh karena itu untuk dapat mengetahui seberapa handal sistem atau komponen yang dianalisa diperlukan data mengenai catatan waktu kegagalan dari sistem atau komponen tersebut.

4.5.2 Parameter Laju Kegagalan dan Waktu Perbaikan

Dalam analisa keandalan dan ketersediaan, faktor kedisiplinan dari operator mesin dalam mencatat seluruh rekaman proses operasi dari sistem juga sangat penting. Ketersediaan data menjadi salah satu hal utama yang harus diperhatikan.

Akan tetapi, kurangnya catatan atau data mengenai kerusakan komponen atau sistem adalah hal yang kerap terjadi. Sebagaimana yang terjadi pada penelitian ini, berdasarkan data gangguan yang dicatat oleh perusahaan sejak tahun 2007 hingga tahun 2014, tidak semua komponen dalam sistem memiliki data kerusakan yang dapat mewakili kinerja sistem. Namun analisa ketersediaan tetap dapat dilakukan. Dikarenakan data tidak memenuhi maka digunakan data skunder dari bank data keandalan.

Penggunaan data sekunder sebenarnya paling tepat untuk menganalisa keandalan maupun ketersediaan untuk jenis analisa yang bersifat desain, namun dikarenakan keterbatasan data maka penggunaan data skunder dari bank dalam hal ini juga digunakan untuk analisa yang bersifat evaluasi.

Sesuai dengan yang telah dijelaskan pada batasan masalah dan pada beberapa sub bab sebelumnya, data skunder yang

digunakan dalam penelitian ini adalah data dari OREDA-2002. Berdasarkan bank data tersebut dapat diketahui baik nilai laju kegagalan. Nilai laju kegagalan yang dipilih sebagai nilai masukan untuk model blok diagram disesuaikan dengan mode kegagalan yang telah ditentukan sebelumnya begitu pula dengan data perbaikan komponen.

Data mengenai perbaikan didapat dari *Guide to Ship Repair Estimate* dan yang terdapat pada OREDA-2002. Data perbaikan yang terdapat pada OREDA-2002 tersebut terbagi menjadi dua yaitu *Active Repair Hours* dan *Man-hours Repair*.

Active Repair Hours

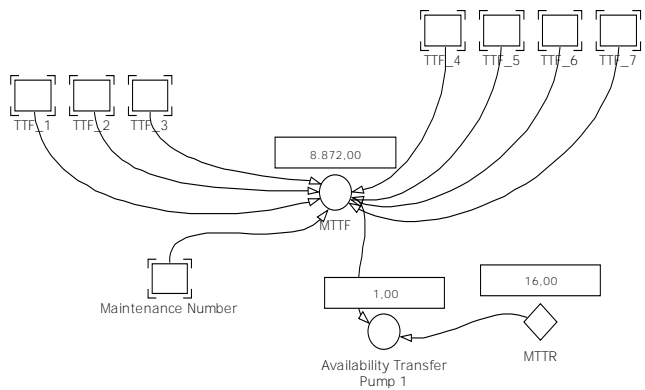
Kolom *Active Repair Time (hours)* pada OREDA-2002 berisi rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan hingga komponen tersebut dapat berfungsi kembali yang dinyatakan dalam *calendar time*. *Active repair time* adalah waktu aktual pekerjaan perbaikan komponen, waktu tersebut tidak mencakup waktu untuk melakukan *shutdown*, waktu untuk memberikan perintah kerja, untuk menunggu *spare part*, memulai pekerjaan, dll. *Active repair time* ini lebih singkat dari *downtime* dimana dalam *downtime* terdapat waktu untuk menunggu *spare part*, dll.

Repair (Manhour)

Kolom repair (*manhour*) menyajikan tiga jenis data waktu perbaikan yaitu *min*, *max* dan *average value*. *Average* atau *mean value* adalah rata-rata waktu perbaikan komponen, sedangkan *min* dan *max* adalah waktu perbaikan terendah dan tertinggi untuk memperbaiki komponen.

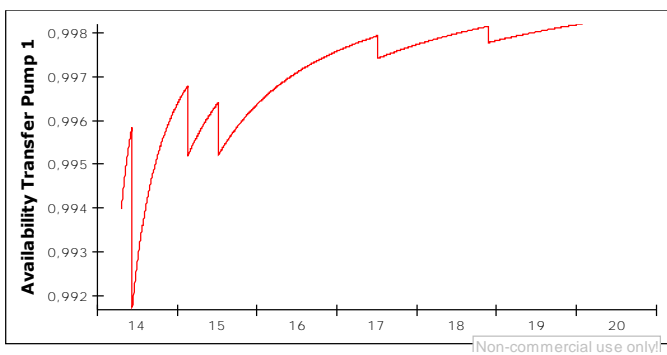
4.5.3 Ketersediaan

Ketersediaan adalah probabilitas suatu sistem atau komponen ditemukan beroperasi dalam jangka waktu tertentu. Pada kasus di sistem pendukung motor induk. Komponen komponen dalam sistem pendukung mesin induk memiliki jadwal operasi yang berbeda dalam setiap sistemnya.



Gambar 4. 8 Model Dinamika Sistem Ketersediaan Komponen

Pada gambar diatas adalah model dari ketersediaan komponen yang dibuat menggunakan dinamika sistem, dalam model diatas terdapat beberapa level yang berisikan data data *time to failure*. Data *time to failure* didapatkan dari tabel 4.3.



Gambar 4. 9 Grafik Ketersediaan Komponen

Grafik diatas menggambarkan nilai ketersediaan yang berbanding dengan waktu, grafik diatas adalah grafik ketersediaan komponen

transfer pump dalam sub unit *fuel oil system*. Ketersediaan komponen transfer pump semakin besar seiring dengan waktu operasional komponen tersebut.

Setelah dibuat model ketersediaan masing- masing komponen dengan menggunakan powersim, maka akan diketahui nilai ketersediaan komponen di dalam sistem pendukung mesin induk kapal.

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka sesuai dengan rumusan didapatkan ketersediaan dari sistem pendukung motor induk adalah sebesar.

Tabel 4. 9 Nilai Ketersediaan Komponen Sistem Bahan Bakar

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Availability</i>
1	Transfer Pump 1	0,9979
2	Transfer Pump 2	0,9986
3	Purifier 1	0,9974
4	Purifier 2	0,9984
5	Supply Pump 1	0,9997
6	Supply Pump 2	0,9995
7	Filter	0,9982

Sesuai dengan tabel 4.9 dapat dihitung dan diketahui besarnya nilai ketersediaan yang sesuai dengan kondisi existing sistem bahan bakar adalah sebesar 0,9982026.

Tabel 4. 10 Nilai Ketersediaan Komponen Sistem Pelumasan

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Availability</i>
1	Transfer Oil Pump 1	0,9990
2	Transfer Oil Pump 2	0,9992
3	Lubricating Oil Cooler	0,9982
4	Lubricating Oil Filter	0,9989
5	Lubricating Oil Purifier	0,9993

Lubricating Oil System Availability adalah 0.9966052, sesuai dengan tabel 4.9 dapat dihitung dan diketahui besarnya nilai ketersediaan yang sesuai dengan kondisi existing sistem bahan bakar adalah sebesar 0,9966052.

Tabel 4. 11 Nilai Ketersediaan Komponen Sistem Pendingin

<i>No.</i>	<i>Equipment</i>	<i>Availability</i>
1	Sea Chest Filter	0,9992
2	Sea Water Pump 1	0,9984
3	Sea Water Pump 2	0,9988
4	Lubricating Oil Cooler	0,9982
5	Fresh Water Pump 1	0,9990
6	Fresh Water Pump 2	0,9991
7	Fresh Water Cooler	0,9994

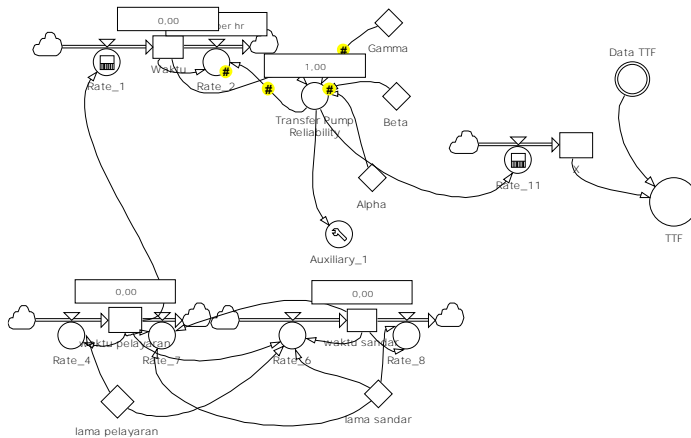
Cooling System Availability adalah 0.99692, sesuai dengan tabel 4.9 dapat dihitung dan diketahui besarnya nilai ketersediaan yang sesuai dengan kondisi existing sistem bahan bakar adalah sebesar 0,99692.

4.6 Analisa Komponen Kritis

Berdasarkan rumusan pada tinjauan pustaka diketahui bahwa nilai kekritisian komponen dapat dihitung menggunakan beberapa metode, salah satunya dengan metode birnbaum yaitu dengan cara menurunkan secara parsial keandalan sistem terhadap keandalan komponen yang dianalisa , serta menggunakan metode vessely fussel

Penentuan tingkat kekritisian komponen pada tugas akhir ini menggunakan metode Vessely Fussel dan metode Birnbaums criticality analysis, pada metode *Birnbaum's criticality measurement* dan *Veselly Fussel* akan relatif terhadap waktu. Sehingga dalam menentukan nilai kritis suatu komponen terlebih

dahulu harus ditetapkan batasan waktu yang akan dianalisa. Dalam penelitian ini analisa komponen kritis dilakukan pada tahun pertama atau pada jam ke 1000.



Gambar 4. 10 Model Keandalan pada Dinamika Sistem

4.6.1 Penentuan Komponen Kritis Metode Birnbaums Fuel Oil System

Pada sistem bahan bakar terdapat tujuh komponen utama penyusun sistem antara lain:

- FO-021 : FO Transfer pumtp 1
- FO-022 : FO Transfer Pump 2
- FO-041 : FO Purifier 1
- FO-042 : FO Purifier 2
- FO-071 : FO Supply Pump 1
- FO-072 : FO Supply Pump 2
- FO-08 : FO Fuel Filter

Nilai keandalan komponen pada tahun pertama operasi atau pada 1000 jam operasi yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Nilai Keandalan Komponen Sistem Bahan Bakar

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Reliability (t=1000)</i>
1	FO Transfer Pump (FO-021)	0,93
2	FO Transfer Pump (FO-22)	0,95
3	FO Purifier 1 (FO-041)	0,27
4	FO Purifier 2 (FO-042)	0,61
5	FO Supply Pump 1	0,91
6	FO Supply Pump 2	0,89
7	FO Fuel Filter	0,36

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai.

Dengan menggunakan *Birnbaum's importance measurement* didapatkan hasil sebagai berikut :

$$I^B(1|1000) = \frac{\partial(R_{1A}+R_{1B} - R_{1A}R_{1B})(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})(R_{3A} + R_{3B} - R_{3A}R_{3B})R_4}{\partial R_{1A}}$$

$$= 0,254958671$$

$$I^B(2|1000) = \frac{\partial(R_{1A}+R_{1B} - R_{1A}R_{1B})(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})(R_{3A} + R_{3B} - R_{3A}R_{3B})R_4}{\partial R_{1B}}$$

$$= 0,27319$$

$$I^B_{(3|1000)} = \frac{\partial(R_{1A}+R_{1B} - R_{1A}R_{1B})(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})(R_{3A} + R_{3B} - R_{3A}R_{3B})R_4}{\partial R_{2A}}$$

$$= 0,355188474$$

$$I^B_{(4|1000)} = \frac{\partial(R_{1A}+R_{1B} - R_{1A}R_{1B})(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})(R_{3A} + R_{3B} - R_{3A}R_{3B})R_4}{\partial R_{2B}}$$

$$= 0,355188474$$

$$I^B_{(5|1000)} = \frac{\partial(R_{1A}+R_{1B} - R_{1A}R_{1B})(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})(R_{3A} + R_{3B} - R_{3A}R_{3B})R_4}{\partial R_{3A}}$$

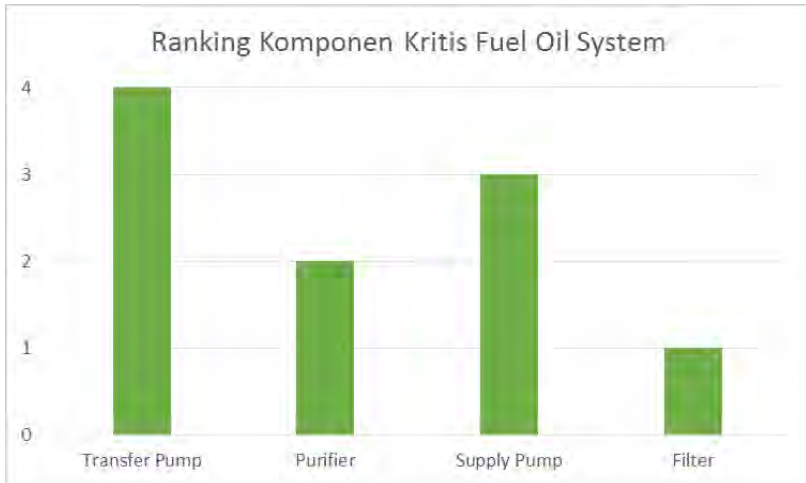
$$= 0,256606722$$

$$I^B_{(6|1000)} = \frac{\partial(R_{1A}+R_{1B} - R_{1A}R_{1B})(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})(R_{3A} + R_{3B} - R_{3A}R_{3B})R_4}{\partial R_{3B}}$$

$$= 0,256606722$$

$$I^B_{(7|1000)} = \frac{\partial(R_{1A}+R_{1B} - R_{1A}R_{1B})(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})(R_{3A} + R_{3B} - R_{3A}R_{3B})R_4}{\partial R_4}$$

$$= 0,705739765$$



Gambar 4. 11 Grafik Ranking Komponen Kritis Sistem Bahan Bakar

Tabel 4. 13 Ranking komponen kritis Sistem Bahan Bakar

No	Equipment	Ranking
1	Transfer Pump	4
2	Purifier	2
3	Supply Pump	3
4	Filter	1

Dari hasil perhitungan nilai kritis komponen penyusun sistem bahan bakar sebagaimana yang disajikan pada **Gambar 4.11** dapat diketahui terdapat 4 ranking dari total 7 komponen yang dimodelkan. Komponen *FO Filter* (FO-3) dan *FO Purifier* (FO-7) menempati ranking pertama dan kedua yang menunjukkan bahwa kedua komponen tersebut memiliki nilai kritis yang lebih besar dibandingkan dengan komponen yang lain. Hal tersebut terjadi karena komponen *FO Filter* dan *FO Purifier* merupakan komponen dengan jumlah masing-masing 1 unit yang terletak pada

konfigurasi seri dalam sistem. Pernyataan tersebut ditunjang oleh penjelasan Rausand dan Arlnjot (2004) mengenai penentuan nilai kritis komponen dengan metode *Birnbaum* dalam bukunya.

Komponen transfer pump 1 dan transfer pump 2 masing-masing memiliki rangking yang sama, begitu pula dengan komponen supply pump 1 dan supply pump 2. Hal tersebut terjadi karena komponen-komponen tersebut terkonfigurasi secara paralel standby dengan nilai laju kegagalan yang identik sehingga dalam hal ini komponen tersebut tidak dianggap terlalu kritis dibandingkan dengan komponen fuel filter dan , karena apabila salah satu komponen tersebut mengalami kegagalan akan digantikan dengan komponen lain yang standby.

Sedangkan untuk komponen tangki, dikarenakan komponen tanki (FO-1, FO-2, FO-4) dimodelkan sebagai komponen yang selalu sukses, maka dalam penentuan tingkat kekritisannya, perhitungan untuk komponen tersebut dapat diabaikan dan atau diletakkan pada rangking terbawah.

Penentuan Komponen Kritis Sistem Minyak Pelumas

Pada sistem minyak pelumas terdapat sembilan komponen utama penyusun sistem antara lain:

LO-21 : LO Transfer Oil Pump 1

LO-22 : LO Transfer Oil Pump 2

LO-03 : LO Cooler

LO-04 : LO Filter

LO-06 : LO Purifier

Nilai keandalan komponen pada tahun pertama operasi atau pada 1000 jam operasi yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 14 Nilai Keandalan Komponen LO System

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Reliability t=1000</i>
1	LO Transfer Oil Pump 1	0,86
2	LO Transfer Oil Pump 2	0,93
3	LO Cooler	0,83
4	LO Filter	0,61
5	LO Purifier	0,62

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai.

Dengan menggunakan *Birnbaum's importance measurement* didapatkan hasil sebagai berikut

$$I^B(1|1000) = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1B})R_2R_3R_4}{\partial R_{1A}}$$

$$= 0,313906$$

$$I^B(2|1000) = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1B})R_2R_3R_4}{\partial R_{1B}}$$

$$= 0,37449364$$

$$I^B(3|1000) = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1B})R_2R_3R_4}{\partial R_2}$$

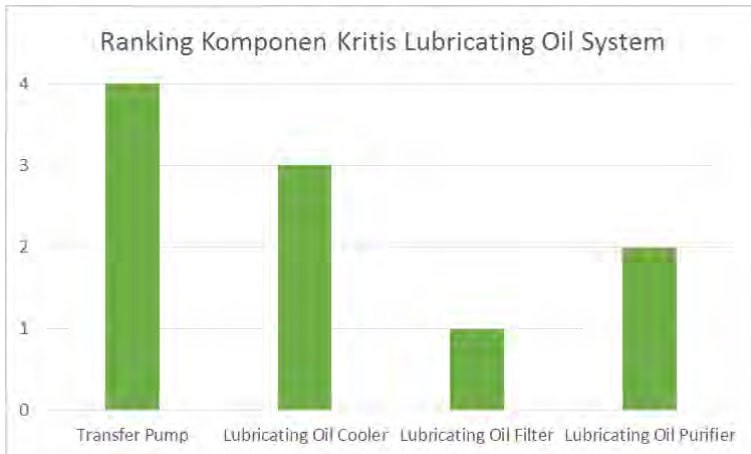
$$= 0,37449364$$

$$I^B(4|1000) = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1B})R_2R_3R_4}{\partial R_3}$$

$$= 0,50955692$$

$$I^B_{(5|1000)} = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1B})R_2R_3R_4}{\partial R_4}$$

$$= 0,50133826$$



Gambar 4. 12 Rangking komponen kritis sistem minyak pelumas

Tabel 4. 15 Ranking Komponen Kritis Sistem Pelumas

No	Equipment	Ranking
1	Transfer Oil Pump	4
2	Lubricating Oil Cooler	3
3	Lubricating Oil Filter	1
4	Lubricating Oil Purifier	2

Gambar 4.11 diatas menunjukkan hasil perangkingan nilai kritis dari komponen penyusun sistem minyak pelumas. Berdasarkan grafik tersebut diketahui bahwa yang menjadi komponen paling kritis adalah komponen LO-04 atau komponen *LO filter* disusul dengan komponen LO-06 atau komponen *LO*

purifier. Secara sekilas hal tersebut wajar terjadi karena kedua komponen tersebut bekerja pada konfigurasi seri terhadap sistem tanpa ada komponen yang menjadi cadangan.

Kesamaan rangking komponen pada sistem ini terjadi pada main filter dan inlet filter serta pada pompa. Hal tersebut disebabkan karena komponen tersebut terkonfigurasi *paralel standby* dengan nilai laju kegagalan yang sama (untuk main filter dan inlet filter). Sebagaimana diketahui komponen yang terkonfigurasi secara paralel standby memiliki nilai keandalan yang lebih tinggi karena komponen yang gagal akan segera digantikan oleh komponen yang *standby*.

Pada sistem ini sebagaimana yang terjadi pada sistem bahan bakar, komponen tanki memiliki prioritas terkecil atau tidak kritis karena tangki dimodelkan sebagai komponen yang selalu sukses.

Penentuan Komponen Kritis Sistem Pendingin Mesin Sistem Pendingin Air Laut

Pada sea water cooling system terdapat lima komponen utama

- SC-01 : Sea Chest Filter
- SC-031 : Sea Water Pump 1
- SC-032 : Sea Water Pump 2
- LO-03 : Lubricating Oil Cooler

Nilai keandalan komponen pada tahun pertama operasi atau pada 1000 jam operasi yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 16 Nilai Keandalan Komponen *Sea Water Cooling System*

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Reliability t= 1000</i>
1	Sea Chest Filter	0,76
2	Sea Water Pump 1	0,98
3	Sea Water Pump 2	0,89
4	Lubricating Oil Cooler	0,83

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai.

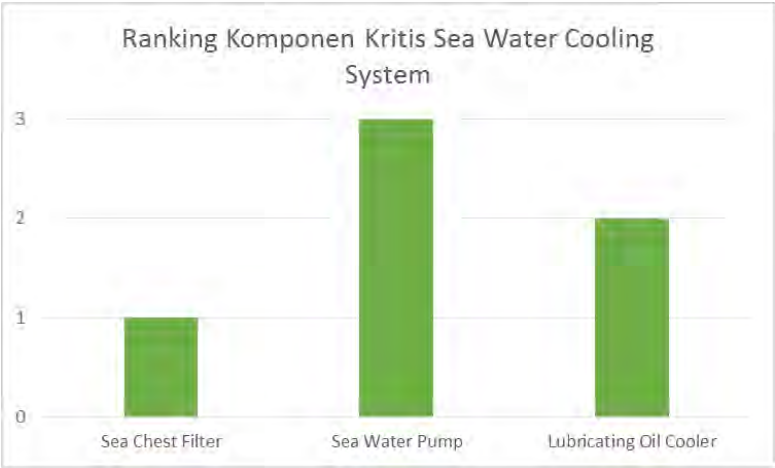
Dengan menggunakan *Birnbaum's importance measurement* didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I^B_{(1|1000)} &= \frac{\partial(R_1(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})R_3R_4)}{\partial R_1} \\
 &= R_{2A}R_3R_4 + R_{2B}R_3R_4 - R_{2A}R_{2B}R_3R_4 \\
 &= 0,828174
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^B_{(2|1000)} &= \frac{\partial(R_1(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})R_3R_4)}{\partial R_{2A}} \\
 &= R_1R_3R_4 - R_1R_{2B}R_3R_4 \\
 &= 0,6308
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I^B(3|1000) &= \frac{\partial(R_1(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})R_3R_4)}{\partial R_{2B}} \\ &= R_1R_3R_4 - R_1R_{2A}R_3R_4 \\ &= 0,6308 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I^B(4|1000) &= \frac{\partial(R_1(R_{2A} + R_{2B} - R_{2A}R_{2B})R_3R_4)}{\partial R_4} \\ &= R_1R_{2A}R_3 + R_1R_{2B}R_3 - R_1R_{2A}R_{2B}R_3 \\ &= 0,758328 \end{aligned}$$



Gambar 4. 13 Grafik ranking komponen kritis sistem pendingin mesin

Tabel 4. 17 Ranking Komponen Sea Water Cooling System

No.	Equipment	Ranking
1	Sea Chest Filter	1
2	Sea Water Pump	3
3	Lubricating Oil Cooler	2

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kritis komponen dengan metode *Birnbaum*, semakin besar nilai kritis dari suatu komponen maka semakin besar pula potensi komponen tersebut berkontribusi dalam kegagalan sistem.

Setelah nilai kritis dari keempat komponen penyusun sistem pendingin mesin air laut dibandingkan, maka didapatkan hasil komponen *sea chest filter* menjadi komponen yang kritis dalam sistem, disusul oleh komponen *lubricating oil cooler*. Sedangkan komponen *sea water pump 1* dan *sea water pump 2* tidak dianggap begitu kritis dikarenakan *jacket water radiator* terkonfigurasi secara *standby paralel* dan tangki dimodelkan sebagai komponen yang selalu sukses.

Penentuan Komponen Kritis Sistem Pendingin Mesin Sistem Pendingin Air Tawar

Pada cooling water system terdapat dua komponen utama

- FC-031 : Fresh Water Pump 1
- FC-032 : Fresh Water Pump 2
- FC-05 : Fresh Water Cooler

Nilai keandalan komponen pada tahun pertama operasi atau pada 1000 jam operasi dari hasil perhitungan dengan persamaan 2.1 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 18 Nilai Keandalan Komponen Fresh Water Cooling System

<i>No.</i>	<i>Equipment</i>	<i>Reliability t=1000</i>
1	Fresh Water Pump 1	0,83
2	Fresh Water Pump 2	0,89
3	Fresh Water Cooler	0,27

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai

Dengan menggunakan *Birnbaum's importance measurement* didapatkan hasil tingkat kekritisan masng-masing komponen sebagai berikut.

$$I^B_{(1|1000)} = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1b})R_2)}{\partial R_1}$$

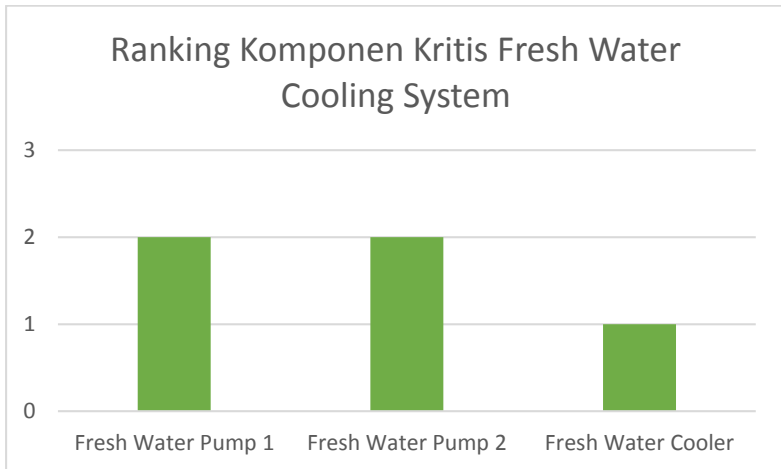
$$= 0.27$$

$$I^B_{(2|1000)} = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1b})R_2)}{\partial R_1}$$

$$= 0.27$$

$$I^B_{(3|1000)} = \frac{\partial(R_{1A} + R_{1B} - R_{1A}R_{1b})R_2)}{\partial R_1}$$

$$= 0.9813$$



Gambar 4. 14 Grafik ranking komponen kritis sistem pendingin air tawar

Tabel 4. 19 Ranking Komponen Sistem Pendingin Air Tawar

<i>No.</i>	<i>Equipment</i>	<i>Ranking</i>
1	Fresh Water Pump 1	2
2	Fresh Water Pump 2	2
3	Fresh Water Cooler	1

Gambar 4.25 diatas menunjukkan rangking komponen kritis dari sistem pendingin air tawar. Hasil perangkingan serupa dengan hasil pada sistem pendingin mesin. Hal ini dikarenakan kedua sistem identik, sehingga berdasarkan perhitungan didapatkan hasil yang serupa.

4.6.2 Penentuan Komponen Kritis menggunakan Metode Vessely Fussel.

Untuk membuktikan bahwa hasil perhitungan komponen kritis valid, maka dilakukan perhitungan untuk kedua kalinya sebagai konfirmasi dari hitungan metode sebelumnya.

Metode Vessely Fussel memperhatikan sistem dengan minimal cutset pada saat waktu t , sistem akan gagal jika dan hanya minimal satu cut set mengalami gagal.

A.Fuel Oil System

Pada sistem bahan bakar terdapat tujuh komponen utama penyusun sistem antara lain:

FO-021 : FO Transfer pump 1

FO-022 : FO Transfer Pump 2

FO-041 : FO Purifier 1

FO-042 : FO Purifier 2

FO-071 : FO Supply Pump 1

FO-072 : FO Supply Pump 2

FO-08 : FO Fuel Filter

Nilai keandalan pada komponen Fuel oil system

Tabel 4. 20 Nilai Keandalan Komponen FO System

<i>No</i>	<i>Equipment</i>	<i>Reliability (t=1000)</i>
1	FO Transfer Pump (FO-021)	0,93
2	FO Transfer Pump (FO-22)	0,95
3	FO Purifier 1 (FO-041)	0,27
4	FO Purifier 2 (FO-042)	0,61
5	FO Supply Pump 1	0,91
6	FO Supply Pump 2	0,89
7	FO Fuel Filter	0,36

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai.

Dengan menggunakan metode Vessely Fussell didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(1 \mid 1000) &= \frac{P(D1(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_{1A}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,004692106
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(2 \mid 1000) &= \frac{P(D2(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_{1B}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,004692106
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(3 \mid 1000) &= \frac{P(D3(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_{2A}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,381669317
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(4 \mid 1000) &= \frac{P(D4(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_{2B}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,381669317
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(5 \mid 1000) &= \frac{P(D5(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_{3A}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,013271957
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(6 \mid 1000) &= \frac{P(D6(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_{3B}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,013271957
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(7 \mid 1000) &= \frac{P(D7(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_4}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,857985118
 \end{aligned}$$

B. Lubricating Oil System

Pada sistem bahan bakar terdapat tujuh komponen utama penyusun sistem antara lain:

LO-21 : LO Transfer Oil Pump 1

LO-22 : LO Transfer Oil Pump 2

LO-03 : LO Cooler

LO-04 : LO Filter

LO-06 : LO Purifier

Tabel 4. 21 Nilai Keandalan Komponen LO System

No	Equipment	Reliability $t=1000$
1	LO Transfer Oil Pump 1	0,86
2	LO Transfer Oil Pump 2	0,93
3	LO Cooler	0,83
4	LO Filter	0,61
5	LO Purifier	0,62

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai

Dengan menggunakan *Metode Vesely Fussel* didapatkan hasil tingkat kekritisn masing-masing komponen sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(1 \mid 1000) &= \frac{P(D1(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_{1A}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,014219998
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(2 \mid 1000) &= \frac{P(D2(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_{1B}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,014219998
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(3 \mid 1000) &= \frac{P(D3(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_2}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,246673435
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(4 \mid 1000) &= \frac{P(D4(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_3}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)}
 \end{aligned}$$

$$= 0,56589788$$

$$I^{VF}(5 \mid 1000) = \frac{P(D5(1000))}{P(C(1000))}$$

$$= \frac{1-R_4}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)}$$

$$= 0,551387678$$

C. Cooling System

1. Sistem Pendingin Air Laut

Pada sistem bahan bakar terdapat tujuh komponen utama penyusun sistem antara lain:

SC-01 : Sea Chest Filter

SC-031 : Sea Water Pump 1

SC-032 : Sea Water Pump 2

LO-03 : Lubricating Oil Cooler

Tabel 4. 22 Nilai Keandalan Komponen Sea Water Cooling System

No	Equipment	Reliability $t=1000$
1	Sea Chest Filter	0,76
2	Sea Water Pump 1	0,98
3	Sea Water Pump 2	0,89
4	Lubricating Oil Cooler	0,83

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai

Dengan menggunakan *Metode Vesely Fussel* didapatkan hasil tingkat kekritisn masing-masing komponen sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(1 \mid 1000) &= \frac{P(D1(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_1}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,647619878
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(2 \mid 1000) &= \frac{P(D2(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_{2A}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,005936516
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(3 \mid 1000) &= \frac{P(D3(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_{2B}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,005936516
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I^{\text{VF}}(4 \mid 1000) &= \frac{P(D4(1000))}{P(C(1000))} \\
&= \frac{1-R_3}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
&= 0,458730747
\end{aligned}$$

2. Sistem pendingin Air Tawar

FC-031 : Fresh Water Pump 1

FC-032 : Fresh Water Pump 2

FC-05 : Fresh Water Cooler

Tabel 4. 23 Nilai Keandalan Komponen Fresh Water Cooling System

No.	Equipment	Reliability $t=1000$
1	Fresh Water Pump 1	0,83
2	Fresh Water Pump 2	0,89
3	Fresh Water Cooler	0,27

Nilai Keandalan diatas didapat dengan menggunakan simulasi pemodelan dinamika sistem sesuai dengan parameter distribusi yang sesuai.

$$\begin{aligned}
 I^{\text{VF}}(1 \mid 1000) &= \frac{P(D1(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_{1A}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,025440481
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^{\text{VF}}(2 \mid 1000) &= \frac{P(D2(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_{1B}}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,025440481
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I^{VF}(3 \mid 1000) &= \frac{P(D3(1000))}{P(C(1000))} \\
 &= \frac{1-R_2}{1-(R_{1A}+R_{1B}-R_{1A}R_{1B})(R_{2A}+R_{2B}-R_{2A}R_{2B})(R_{3A}+R_{3B}-R_{3A}R_{3B})R_4)} \\
 &= 0,99313107
 \end{aligned}$$

4.7 Perbandingan Antar Metoda

Perhitungan-perhitungan diatas mendeskripsikan dua metode yang berbeda untuk menghitung nilai tingkat komponen kekritisan komponen di dalam sistem. Dua metode yang digunakan dalam perhitungan adalah metode birnbaums dan metode vesely fussels. Aplikasi kedua metode perhitungan menunjukkan bahwa masing masing mempunyai nilai tersendiri untuk mengidentifikasi tingkat kekritisan komponen.

Dalam bab 4.7 akan dilakukan perbandingan hasil dari perhitungan indikator komponen kritis yang telah dilakukan, bab ini akan melihat bahwa hasil dari perhitungan komponen kritis sudah menunjukkan hasil yang valid.

4.7.1 Fuel Oil System

Aplikasi perhitungan tingkat kekritisan komponen pada komponen fuel oil system adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 24 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis

<i>Komponen</i>	<i>Metode Birnbaum's</i>	<i>Metode Fussell</i>	<i>Vesely</i>
Transfer Pump 1	0,254958671 (4)	0,004692106 (4)	
Transfer Pump 2	0,254958671 (4)	0,004692106 (4)	
Purifier 1	0,355188474 (2)	0,381669317 (2)	
Purifier 2	0,355188474	0,381669317	

	(2)	(2)
Supply Pump 1	0,256606722	0,013271957
	(3)	(3)
Supply Pump 2	0,256606722	0,013271957
	(3)	(3)
Filter	0,705739765	0,857985118
	(1)	(1)

Perbandingan hasil pada tabel 4.24 menunjukkan tingkat indikator kekritisitas komponen yang sama antara metode birnbaums dengan metode vesely fussel. Masing masing komponen dalam sistem bahan bakar mempunyai tingkat kekritisitas yang sama antar metode birnbaums dengan metode vesely fussel.

4.7.2 Lubricating Oil System

Tabel 4. 25 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis LO System

<i>Komponen</i>	<i>Metode Birnbaums</i>	<i>Metode Vesely Fussel</i>
Oil Transfer Pump 1	0,313906 (4)	0,014219998 (4)
Oil Transfer Pump 2	0,313906 (4)	0,014219998 (4)
Lubricating Oil Cooler	0,37449364 (3)	0,246673435 (3)
Lubricating Oil Filter	0,50955692 (1)	0,56589788 (1)
Lubricating Oil Purifier	0,50133826 (2)	0,551387678 (2)

Perbandingan hasil pada tabel 4.25 menunjukkan tingkat indikator kekritisitas komponen yang sama antara metode birnbaums dengan metode vesely fussel. Masing masing komponen dalam sistem

bahan bakar mempunyai tingkat kekritisannya yang sama antar metode birnbaums dengan metode vesely fussel.

4.7.3 Cooling System

Tabel 4. 26 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis Sea Water Cooling System

Sea Water Cooling System

<i>Komponen</i>	<i>Metode Birnbaums</i>	<i>Metode Fussel</i>	<i>Vesely</i>
Sea Chest Filter	0,828174 (1)	0,647619878 (1)	
Sea Water Pump 1	0,6308 (3)	0,005936516 (3)	
Sea Water Pump 2	0,6308 (3)	0,005936516 (3)	
Lubricating Oil Cooler	0,758328 (2)	0,458730747 (2)	

Perbandingan hasil pada tabel 4.26 menunjukkan tingkat indikator kekritisannya komponen yang sama antara metode birnbaums dengan metode vesely fussel. Masing masing komponen dalam sistem bahan bakar mempunyai tingkat kekritisannya yang sama antar metode birnbaums dengan metode vesely fussel.

Tabel 4. 27 Perbandingan Perhitungan Komponen Kritis Fresh Water Cooling System

<i>Komponen</i>	<i>Metode Birnbaums</i>	<i>Metode Fussel</i>	<i>Vesely</i>
Fresh Water Pump 1	0,27 (2)	0,025440481 (2)	
Fresh Water Pump 2	0,27 (2)	0,025440481 (2)	

Fresh Water Cooler	0,9813 (1)	0,99313107 (1)
--------------------	---------------	-------------------

Perbandingan hasil pada tabel 4.27 menunjukkan tingkat indikator kekritisitas komponen yang sama antara metode birnbaums dengan metode vesely fussel. Masing masing komponen dalam sistem bahan bakar mempunyai tingkat kekritisitas yang sama antar metode birnbaums dengan metode vesely fussel.

4.8 Skenario Perbaikan Main Engine Support System

Skenario perbaikan dalam bab 4.8 digunakan untuk menambah nilai ketersediaan sistem, ada beberapa skenario yang digunakan untuk menambah nilai ketersediaan. setelah dilakukan perbandingan nilai ketersediaan dengan total biaya penambahan komponen, akan dipilih skenario perbaikan sistem yang terbaik dari semua opsi skenario yang telah dirancang.

A. Fuel Oil System

Tabel 4. 28 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Bahan Bakar

No	Sub Group	Part Name	Price (Rp)	USD (Total)
1	FO-System	Transfer Pump 1	25,000,000	1887
2	FO-System	Transfer Pump 2	25,000,000	1887
3	FO-System	Purifier 1	20,000,000	1510
4	FO-System	Purifier 2	20,000,000	1510
5	FO-System	Supply Pump 1	35,000,000	2642

6	FO-System	Supply Pump 2	35,000,000	2642
7	FO-System	Fuel Filter	400,000	31

Biaya untuk setiap komponen dalam sistem bahan bakar diambil dari harga inventaris komponen kapal yang ada dalam daftar terencana harga komponen dalam kapal. Dalam tabel 4.28 disebutkan harga kelompok komponen yang terdapat dalam sistem bahan bakar.

Tabel 4. 29 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Bahan Bakar

<i>No</i>	<i>Skenario</i>	<i>Availability System</i>	<i>Implikasi Biaya</i>	<i>B/C</i>
1	Kondisi Existing	0,9982026	12109	8,16089E-05
2	Kritis 1 redudancy	0,999989541	12140	8,23722E-05
3	Kritis 1 dan 2 redudancy	0,999993701	13650	7,32596E-05
4	Kritis 1 dan 3 redudancy	0,99999	14782	6,76492E-05
5	Kritis 2 redudancy	0,998196947	13619	7,32944E-05

Terdapat beberapa opsi skenario yang akan dilakukan untuk menambah nilai ketersediaan dalam sistem bahan bakar. Opsi skenario dilihat pada tabel 4.29. Setelah dilakukan analisa perhitungan didapatkan skenario 2 merupakan skenario terbaik dalam meningkatkan nilai ketersediaan sistem, pemilihan skenario terbaik dilihat dari nilai perbandingan ketersediaan dengan total biaya investasi penambahan komponen yang dikeluarkan perusahaan.

B. Lubricating Oil System

Tabel 4. 30 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Pelumasan

<i>No</i>	<i>Sub Group</i>	<i>Part Name</i>	<i>Price (Rp)</i>	<i>USD (Total)</i>
1	LO-System	Oil Transfer Pump 1	18,000,000	1306
2	LO-System	Oil Transfer Pump	18,000,000	1306
3	LO-System	Lubricating Oil Cooler	10,000,000	726
4	LO-System	Lubricating Oil Filter	500,000	36
5	LO-System	Lubricating Oil Purifier	12,000,000	871

Biaya untuk setiap komponen dalam sistem pelumasan diambil dari harga inventaris komponen kapal yang ada dalam daftar terencana harga komponen dalam kapal. Dalam tabel 4.28 disebutkan harga kelompok komponen yang terdapat dalam sistem bahan bakar.

Tabel 4. 31 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Pelumasan

<i>No</i>	<i>Skenario</i>	<i>Availability System</i>	<i>Implikasi Biaya</i>	<i>B/C</i>
1	Kondisi Existing	0.9966052	4245	0,000231
2	Kritis 1 redundancy	0,997499255	4281	0,000235
3	Kritis 1 dan 2 redundancy	0,998197505	5152	0,000194
4	Kritis 1 dan 3 redundancy	0,999294754	5007	0,00020

5	Kritis 2 redudancy	0,997100694	5116	0,000195
---	-----------------------	-------------	------	----------

Terdapat beberapa opsi skenario yang akan dilakukan untuk menambah nilai ketersediaan dalam sistem pelumasan kapal. Opsi skenario dilihat pada tabel 4.31 Setelah dilakukan analisa perhitungan didapatkan skenario 2 merupakan skenario terbaik dalam meningkatkan nilai ketersediaan sistem, pemilihan skenario terbaik dilihat dari nilai perbandingan ketersediaan dengan total biaya investasi penambahan komponen yang dikeluarkan perusahaan.

C. Cooling System

Sistem Pendingin Air Laut

Tabel 4. 32 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Pendingin Air Laut

<i>No</i>	<i>Sub Group</i>	<i>Part Name</i>	<i>Price (Rp)</i>	<i>USD (Total)</i>
1	CO-System	Sea Chest Filter	400,000	31
2	CO-System	Sea Water Pump 1	22,000,000	1596
3	CO-System	Sea Water Pump 2	22,000,000	1596
4	CO-System	Lubricating Oil Cooler	10,000,000	726

Biaya untuk setiap komponen dalam sistem pendingin air laut diambil dari harga inventaris komponen kapal yang ada dalam daftar terencana harga komponen dalam kapal. Dalam tabel 4.28 disebutkan harga kelompok komponen yang terdapat dalam sistem bahan bakar.

Tabel 4. 33 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Pendingin Air Laut

<i>No</i>	<i>Skenario</i>	<i>Availability System</i>	<i>Implikasi Biaya</i>	<i>B/C</i>
1	Kondisi Existing	0,997399525	3949	0,000253
2	Kritis 1 redudancy	0,998197445	3980	0,000277
3	Kritis 1 dan 2 redudancy	0,9999942	4706	0,000212
4	Kritis 1 dan 3 redudancy	0,998199361	5576	0,000179
5	Kritis 2 redudancy	0,99739525	4675	0,000213

Terdapat beberapa opsi skenario yang akan dilakukan untuk menambah nilai ketersediaan dalam sistem pendingin air laut. Opsi skenario dilihat pada tabel 4.33 Setelah dilakukan analisa perhitungan didapatkan skenario 2 merupakan skenario terbaik dalam meningkatkan nilai ketersediaan sistem.

Pemilihan skenario terbaik dilihat dari nilai perbandingan ketersediaan dengan total biaya investasi penambahan komponen yang dikeluarkan perusahaan. Pengaruh dari redesain sistem dalam sistem pendingin air laut memiliki nilai B/C pada tabel 4.33. Dalam tabel 4.33 skenario terbaik dari perbaikan sistem adalah opsi skenario pada no.1. Skenario terbaik inilah yang nantinya akan diambil untuk menentukan jadwal perawatan sistem pendukung mesin induk kapal dalam sub sistem pendingin air laut.

Sistem Pendingin Air Tawar

Tabel 4. 34 Daftar Harga Komponen Main Engine Support System Kelompok Sistem Pendingin Air Tawar

<i>No</i>	<i>Sub Group</i>	<i>Part Name</i>	<i>Price (Rp)</i>	<i>USD (Total)</i>
1	CO-System	Fresh Water Pump 1	25,000,000	1887
2	CO-System	Fresh Water Pump 2	25,000,000	1887
3	CO-System	Fresh Water Cooler	20,000,000	1510

Biaya untuk setiap komponen dalam sistem pendingin air tawar diambil dari harga inventaris komponen kapal yang ada dalam daftar terencana harga komponen dalam kapal. Dalam tabel 4.34 disebutkan harga kelompok komponen yang terdapat dalam sistem pendingin air tawar.

Tabel 4. 35 Skenario Perbaikan dan Redesain Sistem Pendingin Air Tawar

<i>No</i>	<i>Skenario</i>	<i>Availability System</i>	<i>Implikasi Biaya</i>	<i>B/C</i>
1	Kondisi Existing	0,999399	5284	0,000189
2	Kritis 1 redudancy	0,99999874	6794	0,000192
3	Kritis 1 dan 2 redudancy	0,99999964	8681	0,000115

4	Kritis	2	0,999399101	7171	0,000139
	redudancy				

Terdapat beberapa opsi skenario yang akan dilakukan untuk menambah nilai ketersediaan dalam sistem pendingin air tawar. Opsi skenario dilihat pada tabel 4.35 Setelah dilakukan analisa perhitungan didapatkan skenario 2 merupakan skenario terbaik dalam meningkatkan nilai ketersediaan sistem, pemilihan skenario terbaik dilihat dari nilai perbandingan ketersediaan dengan total biaya investasi penambahan komponen yang dikeluarkan perusahaan. .

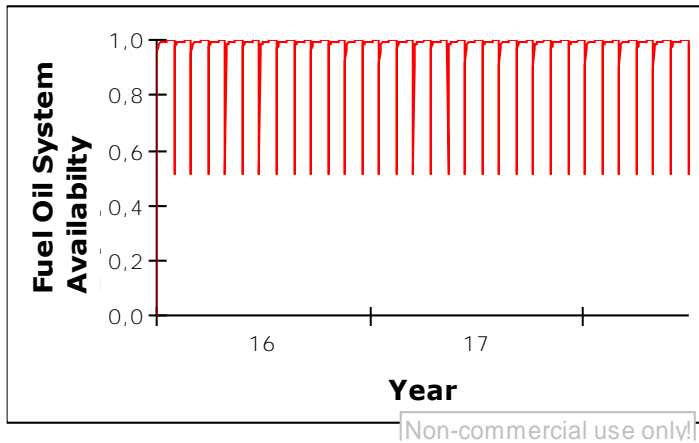
Dalam tabel 4.35 skenario terbaik dari perbaikan sistem adalah opsi skenario pada no.1. Skenario terbaik inilah yang nantinya akan diambil untuk menentukan jadwal perawatan sistem pendukung mesin induk kapal dalam sub sistem pendingin air tawar.

4.9 Implikasi Redesign Terhadap Jadwal Perawatan Main Engine Support System

4.9.1 Fuel Oil System

Jadwal Existing

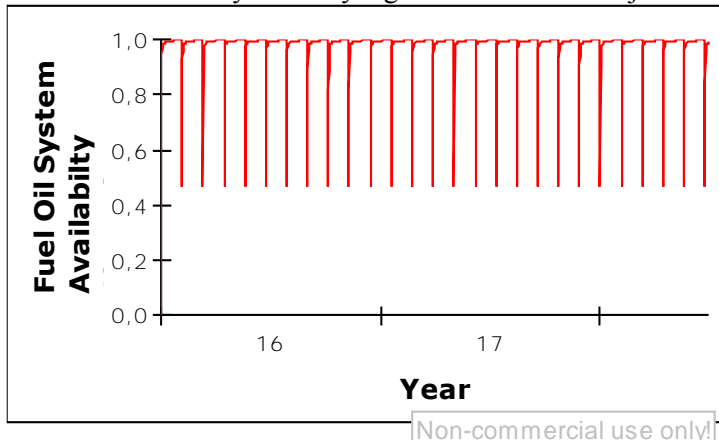
Pembuatan Model Jadwal Perawatan Berdasarkan Implikasi Redesign Dalam fuel oil system telah diketahui bahwa nilai Availability system adalah 0.9982026 . Jadwal perawatan akan dilakukan dengan availability dan nilai MTTF system yang di sesuaikan pada nilai tersebut. Hasilnya Waktu perawatan sistem diperoleh sebesar 610 jam.



Gambar 4. 15 Grafik ranking komponen kritis sistem pendingin

Jadwal dengan Skenario Perbaikan Sistem

Dalam model dengan menggunakan efek perawatan yang di pilih berdasarkan skenario re design sistem, desain hasil efek perawatan adalah 0,999989541 maka hasil yang di peroleh untuk jadwal perawatan Availability Sistem yang terbaik adalah 745 jam .



Gambar 4. 16 Grafik Fuel Oil System Availability Skenario

Setelah dilakukan pemodelan dinamika sistem, selanjutnya adalah penentuan jadwal perawatan dari skenario perbaikan sistem yang telah dipilih. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.36 , jadwal perawatan dilakukan saat kapal dalam kondisi bersandar di pelabuhan.

Tabel 4. 36 Jadwal Perawatan Sistem Bahan Bakar

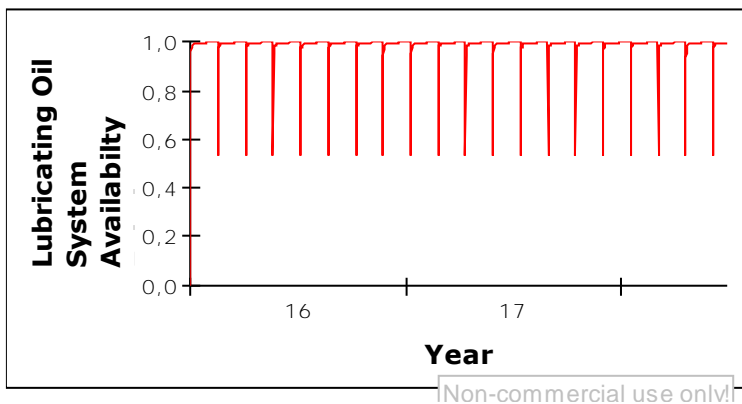
<i>No</i>	<i>Tanggal</i>	<i>Waktu</i>
1	05 Februari 2016	22:00
2	13 Maret 2016	23:00
3	17 April 2016	16:00
4	23 Mei 2016	18:00
5	29 Juni 2016	07:00
6	03 Agustus 2016	22:00
7	08 September 2016	23:00
8	14 Oktober 2016	10:00
9	22 November 2016	22:00
10	20 Desember 2016	05:00
11	30 Januari 2017	10:00
12	12 Maret 2017	12:00
13	17 April 2017	13:00
14	23 Mei 2017	06:00
15	28 Juni 2017	12:00
16	03 Agustus 2017	20:00
17	10 September 2017	06:00
18	14 Oktober 2017	12:00
19	19 November 2017	15:00
20	26 Desember 2017	07:00
21	29 Januari 2018	13:00
22	10 Maret 2018	11:00
23	16 April 2018	23:00
24	23 Mei 2018	01:00
25	27 Juni 2018	22:00

Dalam tabel 4.36 diketahui dalam 2,5 tahun kapal beroperasi, akan dilakukan sebanyak 25 kali perawatan dengan jadwal dan waktu yang telah tertera diatas.

4.9.2 Lubricating Oil System

Jadwal Existing

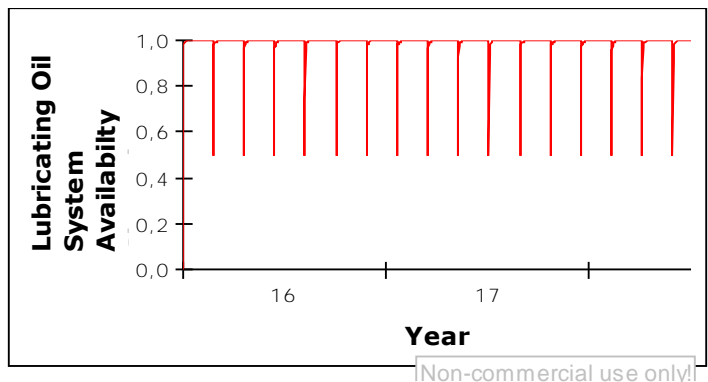
Pembuatan Model Jadwal Perawatan Berdasarkan Implikasi Redesign dalam lubricating oil system telah diketahui bahwa nilai Availability system adalah 0,9966052 . Jadwal perawatan akan dilakukan dengan availability dan nilai MTTF system yang di sesuaikan pada nilai tersebut. Hasilnya Waktu perawatan sistem diperoleh sebesar 954 jam.



Gambar 4. 17 Grafik Lubricating Oil System Availability Existing

Jadwal dengan Skenario Perbaikan Sistem

Dalam model dengan menggunakan efek perawatan yang di pilih berdasarkan skenario re design sistem, desain hasil efek perawatan adalah 0,997499 maka hasil yang di peroleh untuk Availability Sistem yang terbaik adalah 1125 jam pada waktu yang telah tertulis di dalam tabel.



Gambar 4. 18 Grafik Lubricating Oil System Availability Skenario

Setelah dilakukan pemodelan dinamika sistem, selanjutnya adalah penentuan jadwal perawatan dari skenario perbaikan sistem yang telah dipilih. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.37 , jadwal perawatan dilakukan saat kapal dalam kondisi bersandar di pelabuhan.

Tabel 4. 37 Jadwal Perawatan Sistem Pelumasan

<i>No</i>	<i>Tanggal</i>	<i>Waktu</i>
1	23 Februari 2016	23:00
2	17 April 2016	18:00
3	10 Juni 2016	16:00
4	03 Agustus 2016	10:00
5	01 Oktober 2016	22:00
6	24 November 2016	21:00
7	17 Januari 2017	18:00
8	15 Maret 2017	13:00
9	09 Mei 2017	22:00
10	02 Juli 2017	06:00
11	25 Agustus 2017	21:00
12	18 Oktober 2017	18:00

13	15 Desember 2017	11:00
14	07 Februari 2018	06:00
15	01 April 2018	22:00
16	26 Mei 2018	22:00
17	27 Juni 2018	21:00

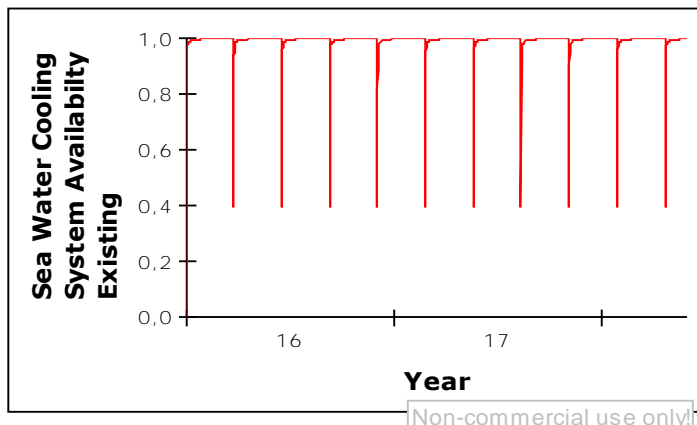
Dalam tabel 4.37 diketahui dalam 2,5 tahun kapal beroperasi, akan dilakukan sebanyak 17 kali perawatan dengan jadwal dan waktu yang telah tertera diatas.

4.9.3 Cooling Water System

Sea Water Cooling System

Jadwal Existing

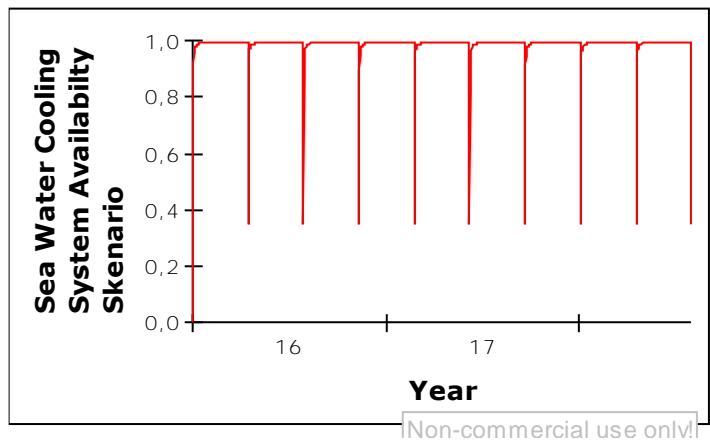
Pembuatan Model Jadwal Perawatan Berdasarkan Implikasi Redesign dalam lubricating oil system telah diketahui bahwa nilai Availability system adalah 0,9966052 . Jadwal perawatan akan dilakukan dengan availability dan nilai MTTF system yang di sesuaikan pada nilai tersebut. Hasilnya Waktu perawatan sistem diperoleh sebesar 1772 jam.



Gambar 4. 19 Grafik Sea Water Cooling System Availability Existing

Jadwal Model menggunakan skenario perbaikan sistem

Dalam model dengan menggunakan efek perawatan yang di pilih berdasarkan skenario re design terbaik sistem, desain hasil efek perawatan adalah 0,999989541 maka hasil yang di peroleh untuk Availability Sistem yang terbaik adalah 2256 jam.



Gambar 4. 20 Grafik Sea Water Cooling System Availability Skenario

Setelah dilakukan pemodelan dinamika sistem, selanjutnya adalah penentuan jadwal perawatan dari skenario perbaikan sistem yang telah dipilih. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.38 , jadwal perawatan dilakukan saat kapal dalam kondisi bersandar di pelabuhan.

Tabel 4. 38 Jadwal Perawatan Sistem Pelumasan

No	Tanggal	Waktu
1	13 April 2016	12:00
2	24 Juli 2016	22:00
3	05 November 2016	08:00
4	21 Februari 2017	22:00
5	05 Juni 2017	16:00

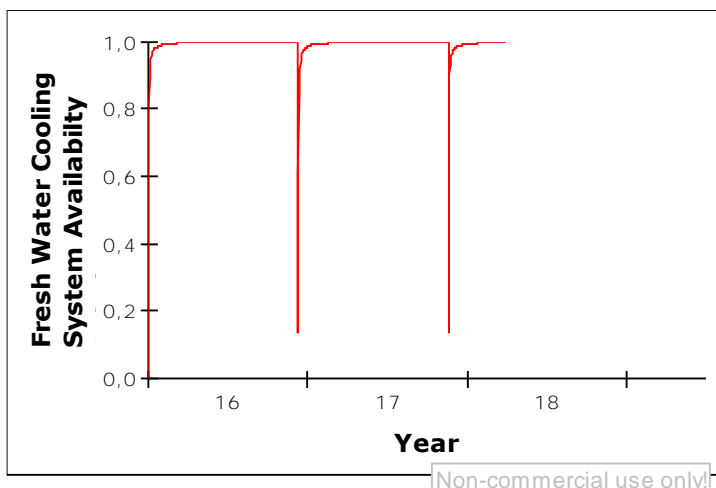
6	17 September 2017	10:00
7	03 Januari 2018	12:00
8	16 April 2018	22:00
9	25 Juni 2018	21:00

Dalam tabel 4.37 diketahui dalam 2,5 tahun kapal beroperasi, akan dilakukan sebanyak 17 kali perawatan dengan jadwal dan waktu yang telah tertera diatas.

Fresh Water Cooling System

Jadwal Existing

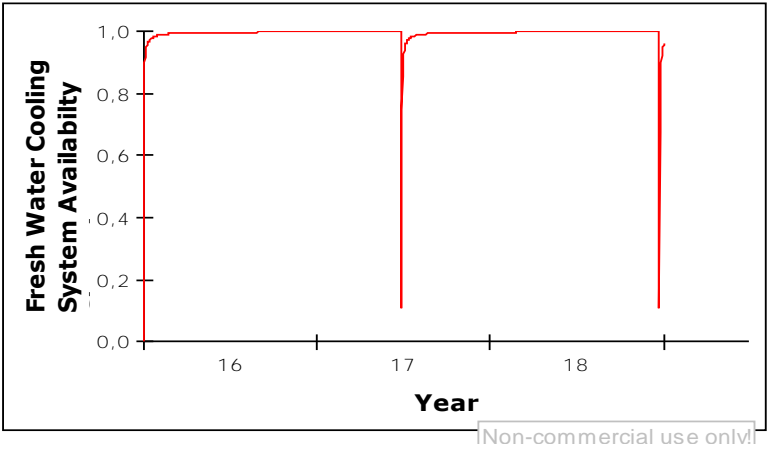
Pembuatan Model Jadwal Perawatan Berdasarkan Implikasi Redesign dalam lubricating oil system telah diketahui bahwa nilai Availability system adalah 0,9966052 . Jadwal perawatan akan dilakukan dengan availability dan nilai MTTF system yang di sesuaikan pada nilai tersebut. Hasilnya Waktu perawatan sistem diperoleh sebesar 5884 jam.



Gambar 4. 21 Grafik Availability Fresh Water Cooling System Existing

Jadwal Model Menggunakan Skenario Perbaikan Sistem

Dalam model dengan menggunakan efek perawatan yang di pilih berdasarkan skenario re design sistem, desain hasil efek perawatan adalah 0,999989541 maka hasil yang di peroleh untuk Availability Sistem yang terbaik adalah 11123 jam.



Gambar 4. 22 Grafik Fresh Water Cooling System Availability Skenario

Setelah dilakukan pemodelan dinamika sistem, selanjutnya adalah penentuan jadwal perawatan dari skenario perbaikan sistem yang telah dipilih. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.38 , jadwal perawatan dilakukan saat kapal dalam kondisi bersandar di pelabuhan.

Tabel 4. 39 Jadwal Perawatan Sistem Pendingin Air Tawar

No	Tanggal	Waktu
1	24 Juni 2017	16:00
2	19 Desember 2018	22:00

Dalam tabel 4.37 diketahui dalam 2,5 tahun kapal beroperasi, akan dilakukan sebanyak 17 kali perawatan dengan jadwal dan waktu yang telah tertera diatas.

4.10 Analisa Biaya Perawatan

Setelah jadwal perawatan dari perawatan komponen diketahui , selanjutnya adalah menghitung besar biaya perawatan yang akan dikeluarkan oleh pihak perusahaan untuk melakukan berbagai tindakan maintenance terhadap komponen yang dilakukan perawatan .

4.10.1 Biaya Down time Kapal

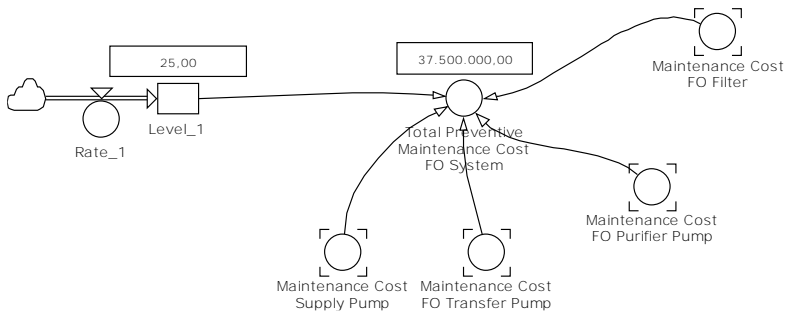
Berdasarkan data kerugian yang di peroleh di lapangan bahwa kerugian yang diterima oleh kapal apabila tidak beroperasi perhari adalah sebesar Rp. 95.000.000. total kerugian ini didapat dari tarif yang digunakan untuk mengangkut peti kemas sehingga didapatkan kerugian per jam adalah $95.000.000/24$ adalah 3.960.000 rupiah.

4.10.2 Biaya Maintenance Kapal

Pemodelan biaya perawatan dibuat untuk mengetahui berapa jumlah biaya perawatan yang dikeluarkan oleh pemilik kapal dalam waktu 2,5 tahun kedepan. Perhitungan biaya dibuat simulasi selama 2,5 tahun sesuai dengan jadwal docking survey kapal. Memasukkan nilai biaya perawatan per masing-masing komponen yang mengalami kerusakan pada sistem serta menambahkan dengan biaya upah tambahan crew selama pelaksanaan kegiatan perawatan. Sehingga :

$(\text{Jam Kerja} \times \text{Biaya Jam Kerja per/jam} \times \text{Jumlah Crew}) \times \text{Jumlah Total Maintenance}$

Biaya jam kerja rata-rata kru kapal adalah sebesar Rp. 7.500.000 Setiap 25 Hari kerja. Jadi setiap jam kerja kru kapal mendapatkan upah sekitar Rp.37.500



Gambar 4. 23 Model Dinamika Sistem Biaya Perawatan FO System

Dalam pembuatan model analisa biaya perawatan akan dibuat model biaya perawatan untuk mengetahui nilai biaya perawatan untuk kondisi existing dan biaya perawatan dengan skenario perbaikan sistem. Berikut merupakan hasil biaya perawatan selama 2,5 tahun operasional kapal.

FO System dengan Skenario Perbaikan : Rp. 37.500.000,00

FO System Existing : Rp. 631.500.000

LO System dengan Skenario Perbaikan: Rp. 33.150.000

LO System Existing: Rp. 571.710.000

SW Cooling dengan Skenario Perbaikan : Rp. 17.550.000

SW Cooling Existing : Rp.373.950.000

FW Cooling dengan Skenario Perbaikan :Rp.3.300.000

FW Cooling Existing : Rp.82.500.000

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai ketersediaan masing masing sub sistem : Sistem Bahan Bakar, Sistem Pelumasan, Sistem Pendingin Air Laut, dan Sistem Pendingin Air Tawar pada sistem pendukung mesin induk kapal setelah dilakukan skenario perbaikan sistem secara berurutan berdasar jadwal pengoperasian antara lain 0,999989541, 0,997499255, 0,998197445, 0,99999874.
2. Berdasarkan hasil analisa menggunakan Powersim Software maka penentuan jadwal perawatan untuk masing-masing sub sistem pada sistem pendukung mesin induk kapal antara lain Hasilnya menunjukkan bahwa *fuel oil system* dilakukan perawatan setiap 714 jam, *lubricating oil system* setiap 1125 jam, *sea water cooling system* setiap 1772 jam, *fresh water cooling system* setiap 11123 jam.
3. Berdasarkan hasil analisa menggunakan metode Birnbaum's Criticality Measure dan Veselly Fussel pada masing-masing sistem pendukung mesin induk. Komponen penyusun sistem pendukung mesin induk diklasifikasikan menjadi urutan rangking nilai kritis dari komponen tersebut.
4. Biaya Total Perawatan setelah dilakukan simulasi pemodelan dinamika sistem selama 2,5 tahun untuk sistem pendukung mesin induk kapal dalam kondisi existing adalah sebesar Rp 1.659.660.000 dan untuk kondisi redesain sistem dengan perencanaan penjadwalan perawatan adalah sebesar Rp. 91.500.000

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini antara lain adalah :

Setelah melakukan pemodelan simulasi dan dengan melihat hasil kesimpulan yang ada, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Penggunaan data yang lengkap dan lebih detail sebaiknya digunakan untuk menggantikan data yang beberapa masih menggunakan asumsi, sehingga nantinya hasil yang didapatkan bisa lebih akurat.
2. Dalam melakukan pemodelan atau simulasi, diperlukan data kegagalan keseluruhan komponen, sehingga simulasi bisa mewakili secara benar sesuai kondisi oprasional kapal.
3. Segala kegiatan perawatan disarankan dicatat dan terekam dengan baik sehingga data analisa perawatan dapat dihitung dan digunakan untuk tindakan perawatan pencegahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Artana, K. B., & Dinariyana, A. (2013). ***Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya***. Surabaya: Guna Widya.
- Artana, K. B., & Ishida, K. (2002). **Optimum Replacement and Maintenance Scheduling Process for Marine Machinery in Wear Out Phase : A Case Study on Main Engine Cooling Pumps**. *The Kansai Society of Naval Architect Japan (KSNAJ)*.
- Borst, V. D. (2001). **An Overview of Probabalistic Safety Assesment Importance Measures**. *Reliability Engineering and System Safety*, 241-245.
- Butler, D. (2000). **Guide to Ship Repair Estimates**. Oxford: Division of Reed Educational and Profesional Publishing Ltd.
- Ebelling. (1997). **An Introduction to reliability and Maintainability Engineering**. Singapore: The Mc.Graw-Hill Companies.
- Handani, D. W., & Uchida, M. (2014). **Modeling Optimum Operation of Ship Machinery by Using System Dynamics**. *Journal of Japan Institute of Marine Engineering Vol 49 No.1*, 132-141.
- Kusuma, I. P. (2009). **Perencanaan Jadwal Perawatan Sistem Pendukung Mesin Induk Kapal dengan Menggunakan Sistem Dinamis**. *Tugas Akhir Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS*.
- Laitonen, J. (2008). **Analyzing System Changes with Importance Measure Pairs Risk Increase Factor And**

Fussel Vesely Compared to Birnbaums and Failure Probability. *Journal of Nuclear Safety Finlandia.*

OREDA (Offshore Reliability Data Hand Book). (2002).
Norway: Det Norske Veritas.

Powersim Studio Software. (2005). USA: Reference Manual.

Pradikta, K. (2012). **Manajemen Perawatan Komponen Operasional dengan Pemodelan Sistem Dinamis.**
Tugas Akhir Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.

Priharanto, Y. E. (2015). **Pengaruh Kompetensi dan Jumlah Kru Perawatan terhadap Biaya Perawatan Kapal Penangkap Ikan dengan Pemodelan Dinamika Sistem.**
Tesis Pasca Sarjana Teknologi Kelautan FTK-ITS.

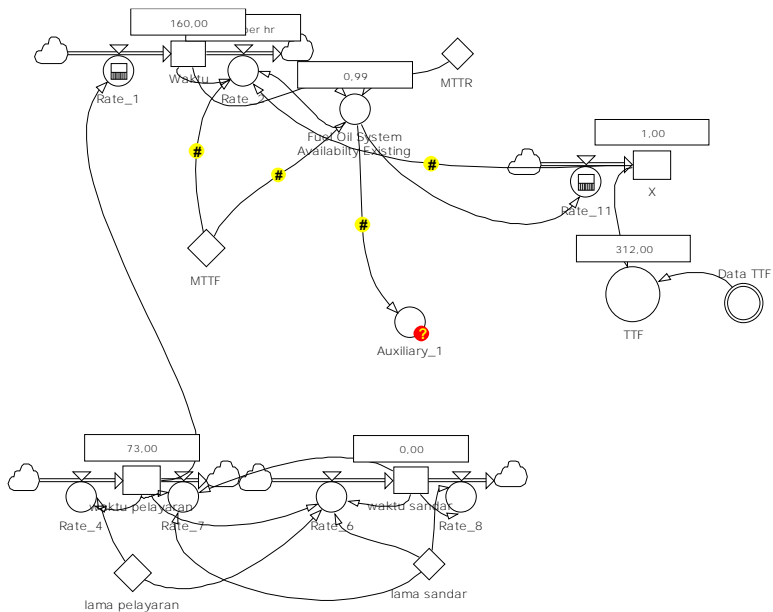
Rahmantya, K. (2015, July 20). Diambil kembali dari statforall:
<http://statforall.com>

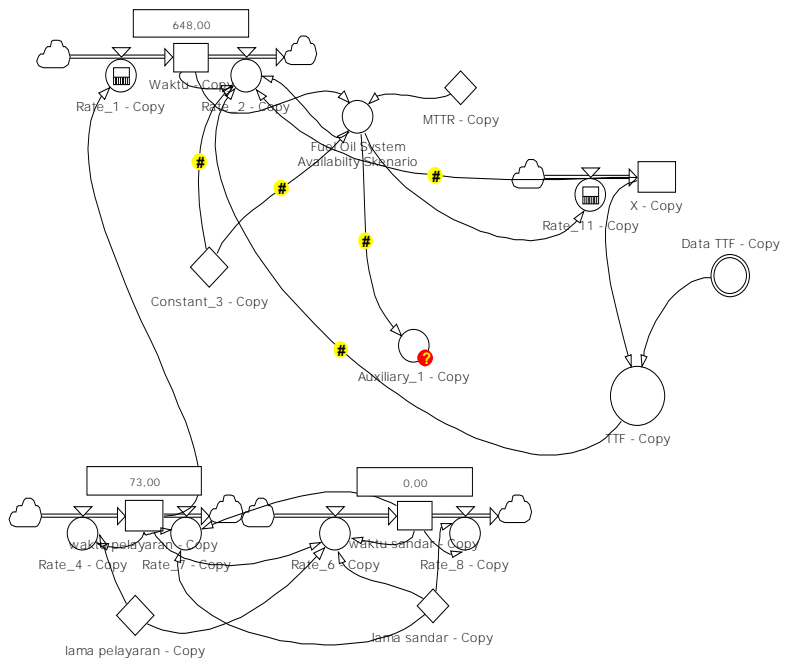
Rausand, M., & Arlnjot, H. (2004). **System Reliability Theory.**
New Jersey: John Willey & Sons Inc.

LAMPIRAN

Lampiran 1

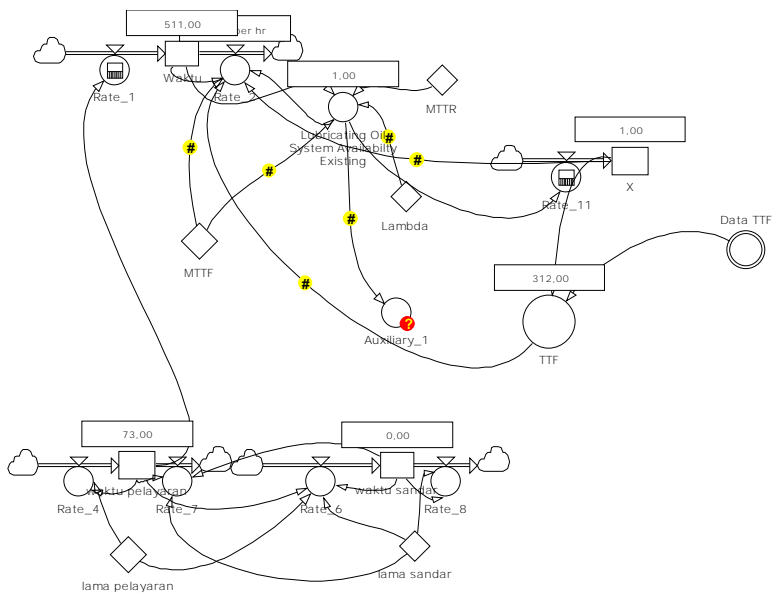
Model Availability FO System Existing



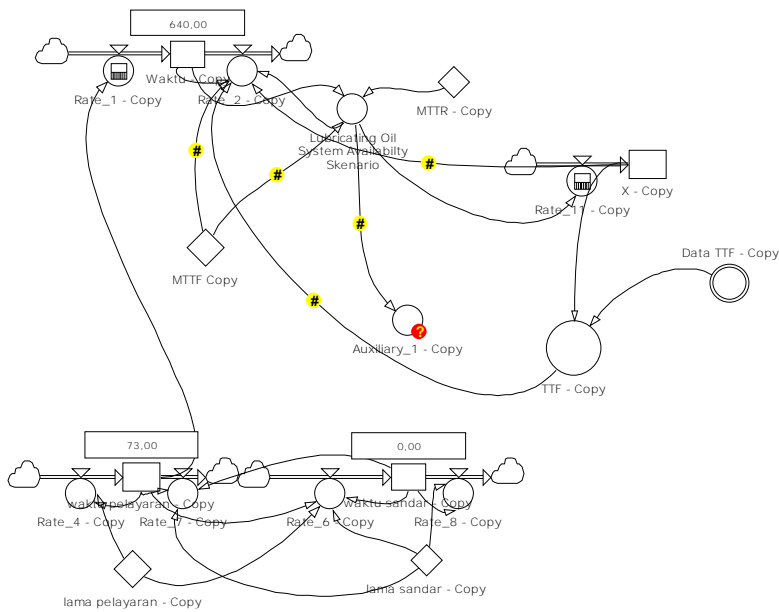


Lampiran 3

Model Availability Lubricating Oil System Existing

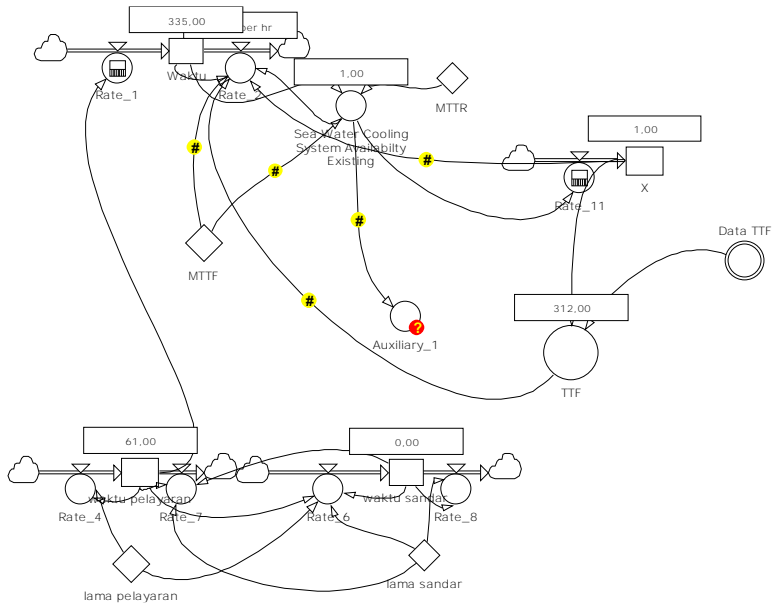


Lampiran 4
Model Availability Lubricating Oil System Skenario

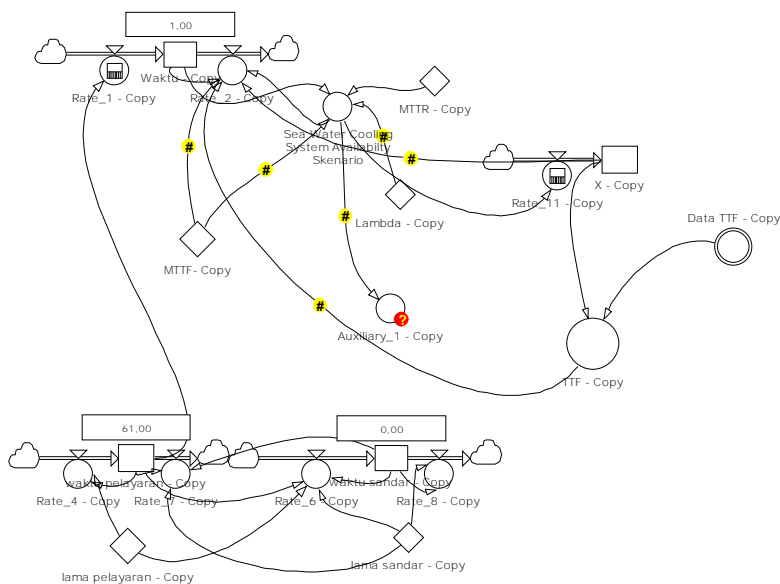


Lampiran 5

Model Availability Sea Water Cooling System Existing

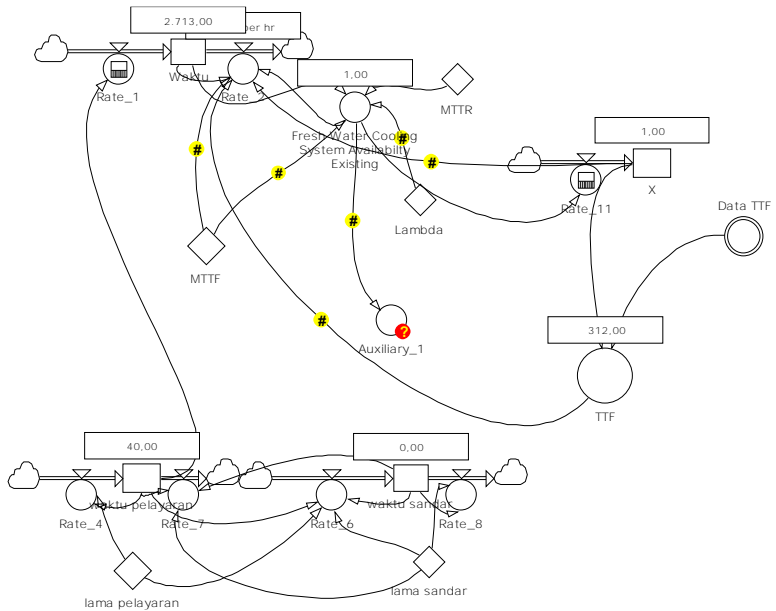


Lampiran 6
Model Availability Sea Water Cooling System Skenario

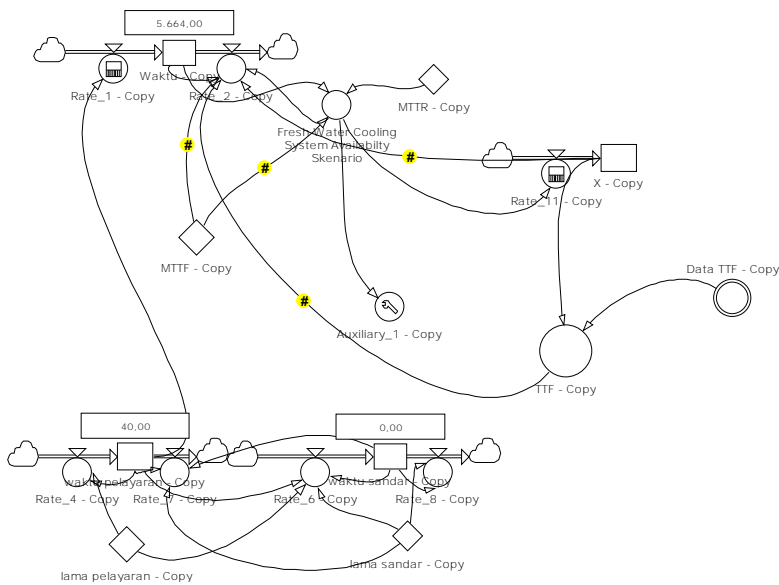


Lampiran 7

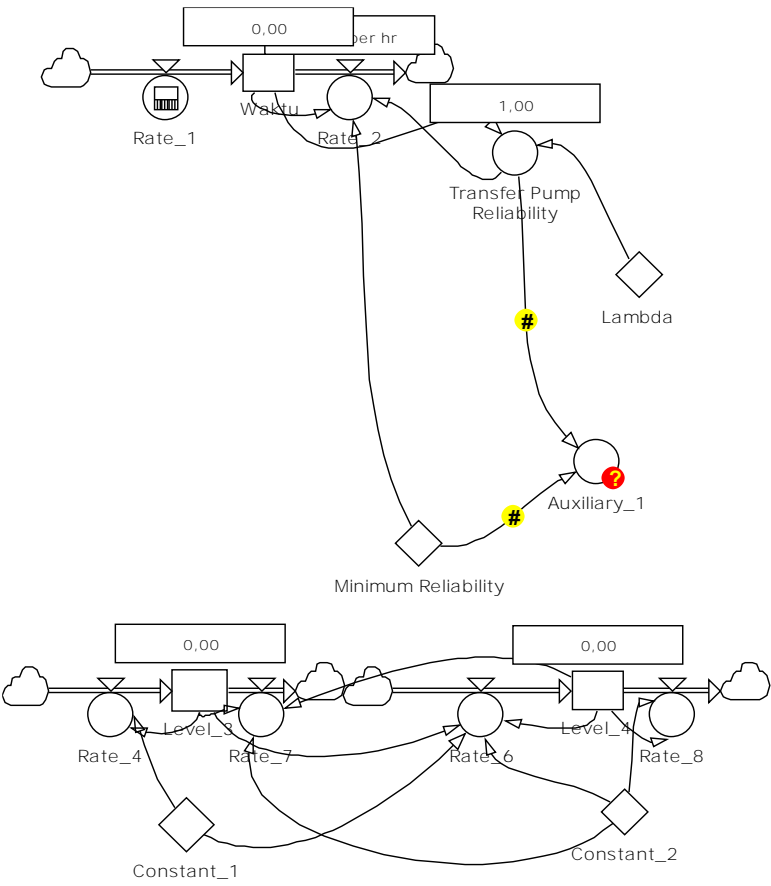
Model Availability Fresh Water Cooling System Existing



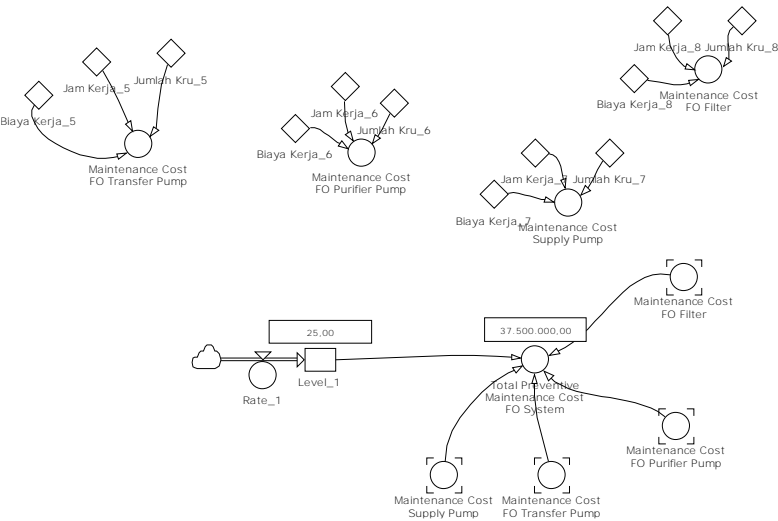
Lampiran 8
Model Availability Fresh Water Cooling System Skenario



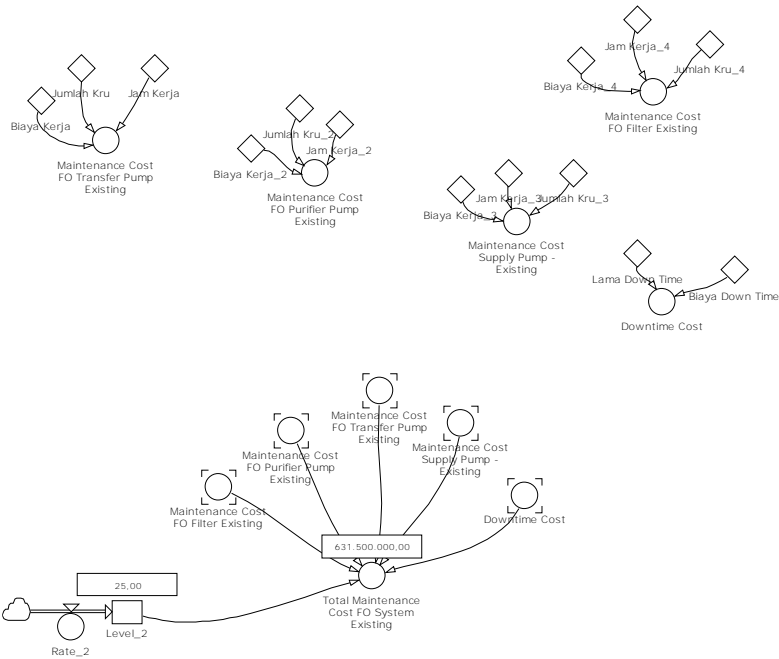
Lampiran 9
Model Keandalan Main Engine Support System



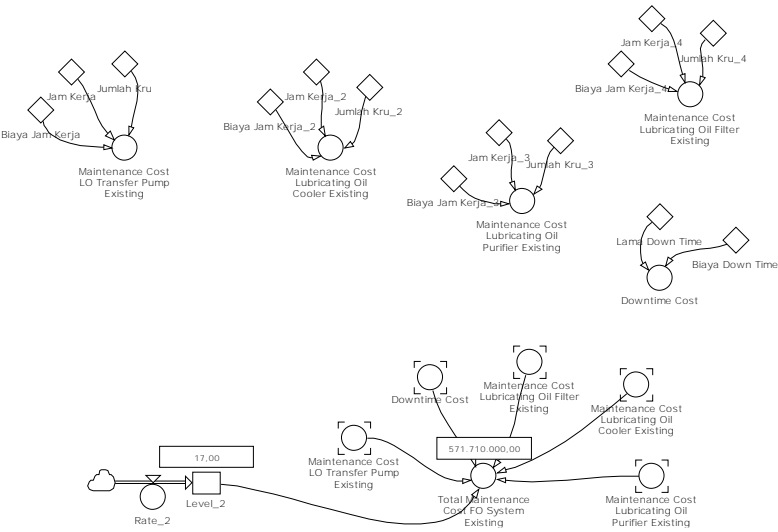
Lampiran 10
Model Biaya Perawatan Fuel Oil System Skenario



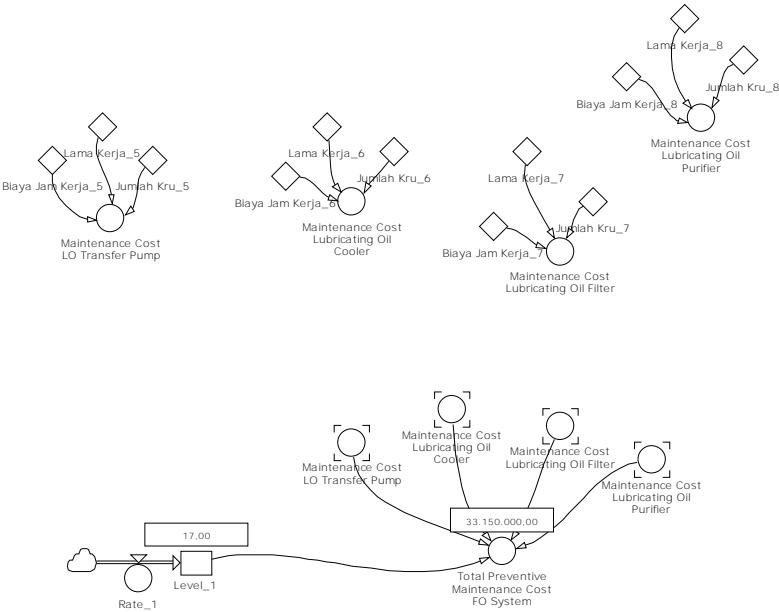
Lampiran 11
Model Biaya Perawatan FO System Existing



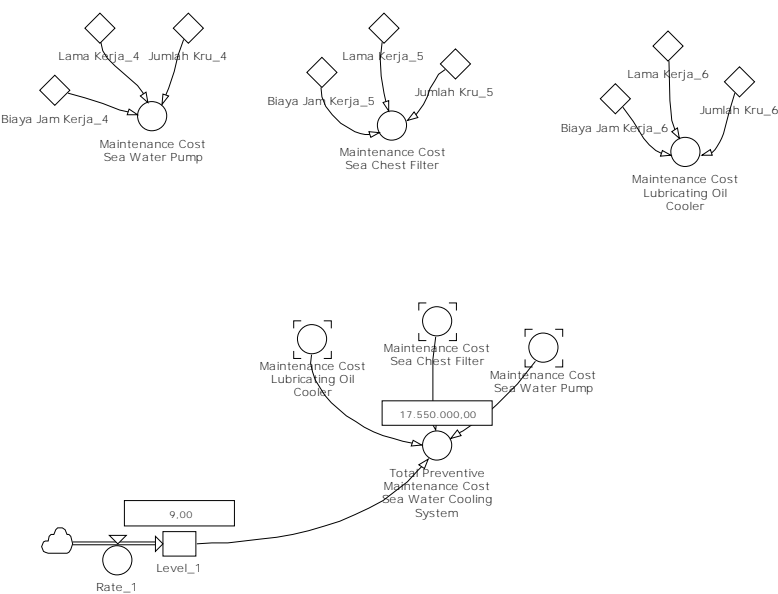
Lampiran 12
Model Biaya Perawatan Lubricating Oil System Existing



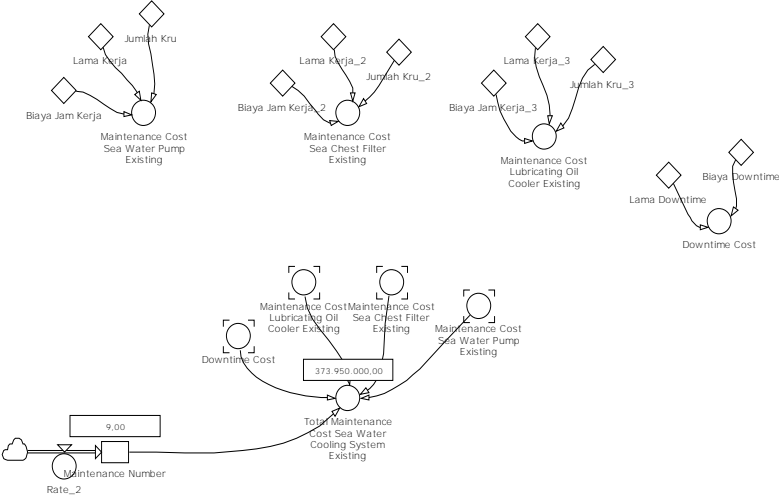
Lampiran 13
Model Biaya Perawatan Lubricating Oil System Skenario



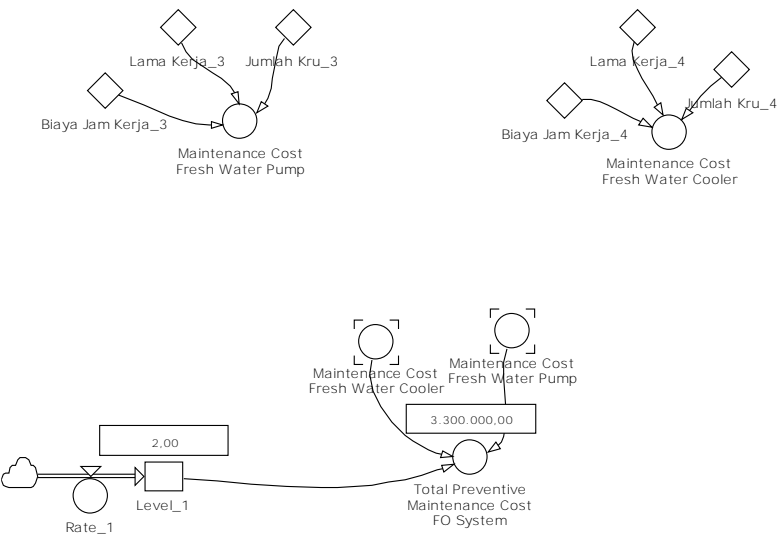
Lampiran 14
Model Biaya Perawatan Sea Water Cooling System Skenario



Lampiran 15
Model Biaya Perawatan Sea Water Cooling System Existing

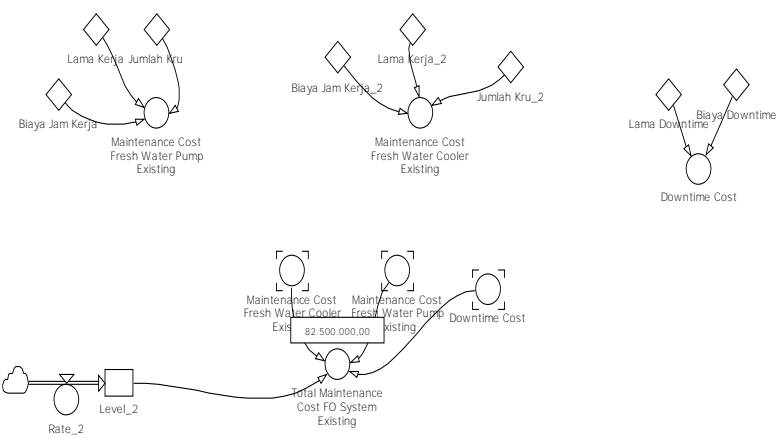


Lampiran 16
Model Biaya Perawatan Fresh Water Cooling System Skenario



Lampiran 17

Model Biaya Perawatan Fresh Water Cooling System Existing



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 09 September 1993 dari pasangan bapak Choirul Anam dan ibu Yuli Setyoningsih. Penulis merupakan anak sulung dari dua bersaudara. Pada tahun 1999 penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri Sidokare II dan lulus pada tahun 2005. Kemudian penulis melanjutkan dan menempuh pendidikannya di SMPN 1 Candi Sidoarjo dan lulus pada tahun 2008. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMAN 4 Sidoarjo dan lulus pada tahun 2011. Setelah lulus SMA, penulis hijrah ke Surabaya dan diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan penulis menekuni pendidikannya di bidang *Reliability, Availability, Maintainability, and Safety* (RAMS). Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan. Pada tahun kedua penulis menjadi staf kaderisasi BEM ITS dan HIMASISKAL FTK ITS 2012/2013, pada tahun ketiga sebagai ketua BEM FTK-ITS 2013/2014, dan diterima *Student Exchange* di King Mongkut's University of Technology Thonburi Thailand pada tahun keempat. Penulis menyelesaikan studi strata satu dalam waktu delapan semester.

Good Year Surya Nusantara
Mahasiswa Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS
good.mar.eng11@gmail.com